

DISEÑO DE UN PLAN DE PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN A PARTIR
DE LA ESTANDARIZACIÓN DE TIEMPOS EN UN TALLER DEL SECTOR
TEXTIL UBICADO EN EL MUNICIPIO DE TULUÁ

CRISTHIAN DAVID AVIRAMA ALZATE
DANIELA QUICENO LÓPEZ

UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA INDUSTRIAL
TULUÁ VALLE
2019

DISEÑO DE UN PLAN DE PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN A PARTIR
DE LA ESTANDARIZACIÓN DE TIEMPOS EN UN TALLER DEL SECTOR
TEXTIL UBICADO EN EL MUNICIPIO DE TULUÁ

CRISTHIAN DAVID AVIRAMA ALZATE
DANIELA QUICENO LÓPEZ

Proyecto de Grado para optar por el título de Ingenieros Industriales

Director

FERNANDO JOSE BETANCOURT CORTEZ

UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA INDUSTRIAL
TULUÁ VALLE
2019

NOTA DE ACEPTACION

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

**Tuluá, Valle Del Cauca
2019**

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecemos a Dios por darnos vida y salud para poder desarrollar la investigación y elaborar el documento con gran satisfacción del cumplimiento de las metas propuestas.

Del mismo modo agradecemos a nuestros padres por todo su esfuerzo, su confianza y apoyo puesta en nosotros para superar con éxito la carrera.

Agradecemos a nuestro director de tesis, profesor Fernando José Betancourt Cortez por su dedicación, seguimiento y contribución a la exitosa culminación de este proyecto. A los profesores de la facultad de Ingeniería Industrial por las asesorías y buena disposición frente a la aclaración de las inquietudes que surgieron durante el desarrollo del proyecto, en general, a la Unidad Central del Valle del Cauca por el apoyo ofrecido.

RESUMEN

Para iniciar es importante mencionar que la programación de la producción cumple un papel fundamental en la industria, debido a que su propósito principal es la reducción de costos y alcanzar el mejor índice de productividad posible lo cual permite que las empresas mejoren su competitividad, por lo tanto, las organizaciones se ven obligadas a innovar en sus procesos productivos y también en sus herramientas de gestión. Ahora bien, existen numerosos factores que influyen en los sistemas productivos y la meta-heurística surge como una alternativa de solución debido a que demuestra que brinda grandes resultados, por esta razón , se ha decidido intervenir en un taller del sector textil ubicado en el municipio de Tuluá, primero estandarizado los métodos y los tiempos y por consiguiente a través de un modelo matemático optimizar el proceso de producción que actualmente consta de un programa empírico lo cual no permite a mencionado taller tener altos índices de productividad, incluso se encuentran afanados en el momento de cumplir el programa de producción y se ven obligados a recurrir a la paga de horas extras a sus operarios para poder lograrlo, el taller cuenta con un sistema productivo flow shop flexible y lo que se busca con el modelo es la reducción del máximo tiempo de procesamiento o makespan, el algoritmo propuesto logra resultados de muy buena calidad y con tiempos computacionales bastantes competitivos.

Palabras Clave: programación de operaciones, tiempos estándar, makespan, modelación matemática.

ABSTRACT

Starting, it's important to mention that scheduling production fulfill a fundamental role in the industry, because its main purpose to reduce cost and achieve the best productivity index, which allows companies to improve their competitiveness, therefore, organizations are forced to innovate in their productive processes and also in their tools management. However, there are numerous factors that influence production systems and meta-heuristics emerges as a solution alternative because it shows that it provides great results, for this reason, it has been decided to intervene in a textile workshop located in Tuluá , first standardized the methods and the times and therefore through a mathematical model to optimize the production process that currently consists of an empirical program which does not allow said workshop to have high productivity indexes, they are even busy in the At the moment of fulfilling the production program and they are forced to resort to the payment of overtime to their operators to be able to achieve it, the workshop has a flexible flow shop productive system and what is sought with the model is the reduction of maximum

time of processing or makespan, the proposed algorithm achieves results of very good quality and with competitive computational times.

Keywords: Scheduling operations, standard times, makespan, Modeling mathematical.

INTRODUCCIÓN

para iniciar es importante mencionar que el sector textil colombiano pese a no ser una de las industrias más grandes del país, desde el año 2000 ha tenido un gran auge, su crecimiento ha sido leve, pero sostenido desde entonces, este sector presenta aumentos significativos en los márgenes operacionales de las empresas más representativas y promete sostenibilidad en el largo plazo.

Ahora bien debido al TLC la competencia proveniente de diferentes países y principalmente de los asiáticos genera una amenaza clara a las industrias de este sector en el país, debido a su enfoque competitivo basado en altos volúmenes de producción a bajo costo por su aprovechamiento de las economías de escala, por lo tanto las empresas se han visto obligadas a plantear estrategias para confrontar este panorama y sin duda alguna el mejor escenario es el aprovechamiento de la flexibilidad de los procesos locales, la situación geográfica cercana a los mercados norteamericanos y los niveles de calidad que se pueden ofrecer.

Siguiendo este orden de ideas es necesario aclarar que, con mercados tan competitivos en la actualidad, es vital que las empresas ofrezcan niveles de servicio superiores a sus clientes y responder ágilmente a los cambios socioeconómicos, políticos y legales, como un aspecto diferenciador; el aporte de producción a esta situación viene dada en el cumplimiento de las entregas previstas en los tiempos establecidos, con sistemas de fabricación flexibles y de rápida respuesta a las exigencias de las áreas comerciales de las organizaciones, las cuales se direccionan por entornos dinámicos, ahora bien bajo esta situación se han planteado estrategias para dar el cumplimiento a tal objetivo como la creación de figuras como alianzas y subcontratación para cumplir con los programas de producción es justo de esta situación donde emana una figura llamada maquila, que es justamente la función que cumple el taller textil el cual fue objeto de estudio de este trabajo.

Teniendo en cuenta lo anterior el taller textil mencionado anteriormente tiene la responsabilidad de responder por una cuota de producción semanal a su cliente que a su vez es su mismo proveedor debido al mecanismo por el que opera pero debido a los altos volúmenes que se les exige se han visto obligados a el pago de horas extras debido a que el tiempo, las máquinas y las operarias no están siendo bien aprovechadas y esto porque la planeación de la producción es hecha de forma empírica y la secuenciación de operaciones no es bien diseñada teniendo así baja utilización de la maquinaria, altos tiempos de alistamiento y tiempos ociosos. En el trabajo se va a poder evidenciar con el planteamiento del problema y su justificación por qué fue representativa la realización del estudio, donde se hizo una estandarización de los tiempos de las actividades y los cuales fueron tiempos como

entrada al modelo matemático de optimización lo cual arroja una secuenciación de actividades que permite cumplir con el programa de producción con mayores niveles de productividad.

TABLA DE CONTENIDO

1	TÍTULO	15
2	PROBLEMA.....	16
2.1	DESCRIPCIÓN	16
3	FORMULACIÓN.....	21
4	JUSTIFICACIÓN	22
5	OBJETIVOS.....	23
5.1	OBJETIVO GENERAL	23
5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
6	MARCO REFERENCIAL.....	24
6.1	MARCO TEÓRICO.....	24
6.1.1	Flow Shop	24
6.1.2	Flow shop hibrido flexible	25
6.1.3	La problemática de la programación en un flow shop hibrido flexible	26
6.1.4	Value stream mapping (VSM)	26
6.1.5	Planeación y control de la producción.....	28
6.1.6	Programación de la producción	28
6.1.7	Programación de operaciones	30
6.1.8	indicadores	32
6.2	MARCO HISTÓRICO.....	33
5.3.	MARCO CONCEPTUAL	35
7	METODOLOGIA.....	37
7.1	DELIMITACIÓN DEL TEMA.....	37
7.2	CLASE DE INVESTIGACIÓN	37
7.2.1	Clase de investigación	37
7.2.2	Tipo de investigación	37
7.3	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	37
7.4	FUENTES Y TECNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	38
7.4.1	Fuentes primarias.....	38
7.4.2	Fuentes secundarias.....	38

7.4.3	Análisis de datos	38
8	DESCRIPCIÓN DEL TALLER TEXTIL	39
8.1	ESTADO ACTUAL.....	39
8.2	ESTUDIO DE MÉTODOS.....	40
8.3	ESTUDIO DE TIEMPOS	46
8.4	DEFINICIÓN DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN.....	52
8.5	INDICADORES.....	53
8.5.1	Indicador de productividad (IP):.....	53
8.5.2	Indicador de eficiencia(IE):.....	54
8.6	VSM Actual.....	55
8.7	VSM PROPUESTO	56
9	DATOS DE ENTRADA AL MODELO.....	59
9.1	PARÁMETROS DE PLAYERA.....	59
9.2	PARÁMETROS DE BERMUDA	61
9.3	PARÁMETROS DE DÚO	62
9.4	PARÁMETROS DE BOAR	63
10	FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	67
10.1	RESTRICCIONES Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA PRODUCTIVO .	67
10.1.1.	Restricciones de precedencia.....	67
10.1.2	Restricciones de construcción	68
10.1.3	Restricciones de capacidad	68
10.1.4	Restricciones técnicas	68
10.2	MODELO MATEMÁTICO	69
10.2.1	Función objetivo	69
10.2.2	Restricciones	69
11	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	72
12	CONCLUSIONES.....	75
13	LINEAS DE INVESTIGACIÓN	76
14	REFERENCIAS Y CITAS BIBLIOGRAFICAS	77
15	APÉNDICE	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tiempo disponible.....	16
Tabla 2. Actualización tecnológica en el Taller Textil.....	17
Tabla 3. Inventario de insumos.....	18
Tabla 4. Producción en unidades de los últimos 12 mese.....	40
Tabla 5. Producción en unidades de los últimos 12 meses (continuación).....	41
Tabla 6. Muestra piloto de la actividad unir delanteros.	46
Tabla 7. Tamaño de muestra de la actividad unir delanteros	47
Tabla 8. Suplementos constantes por descanso.....	47
Tabla 9. Suplementos variables por descanso.....	48
Tabla 10. Tiempos estándar de la referencia <i>playera</i> para la realización de una unidad de pantaloneta.....	49
Tabla 11. Tiempos estándar de la referencia <i>bermuda</i> para la realización de una unidad de pantaloneta.....	49
Tabla 12. Tiempos estándar de la referencia <i>bermuda</i> para la realización de una unidad de pantaloneta (continuación).....	50
Tabla 13. Tiempos estándar de la referencia <i>dúo</i> para la realización de una unidad de pantaloneta.....	50
Tabla 14. Tiempos estándar de la referencia Boar junior para la realización de una unidad de pantaloneta.....	51
Tabla 15. Tiempos estándar para las actividades de preparación.....	51
Tabla 16. Tiempos estándar para actividades de preparación por unidad.....	52
Tabla 17. Área y función.....	53
Tabla 18. Índice de productividad 2018.....	54
Tabla 19. Indicadores de eficiencia para realizar 470 unidades de cada referencia.....	55

Tabla 20. Propuesta de reducción para las actividades que no generan valor en la referencia <i>Playera</i>	57
Tabla 21. Propuesta de reducción para las actividades que no generan valor en la referencia <i>Bermuda</i>	58
Tabla 22. Propuesta de reducción para las actividades que no generan valor en la referencia <i>Dúo</i>	58
Tabla 23. Propuesta de reducción para las actividades que no generan valor en la referencia <i>Boar junior</i>	58
Tabla 24. Secuencia de actividades playera.....	59
Tabla 25. Secuencia de actividades playera (continuación).....	60
Tabla 26. Tiempo de procesamiento playera.....	60
Tabla 27. Secuencia de actividades Bermuda.....	61
Tabla 28. Tiempo de procesamiento Bermuda.....	61
Tabla 29. Tiempo de procesamiento Bermuda (continuación).....	62
Tabla 30. Secuencia de actividades DUO.....	62
Tabla 31. Tiempos de procesamiento Dúo.....	63
Tabla 32. Secuencia de actividades Boar.....	63
Tabla 33. Secuencia de actividades Boar (continuación).....	64
Tabla 34. Tiempo de procesamiento Boar.....	64
Tabla 35. Tiempos de finalización actual frente al obtenido por el modelo.....	74
Tabla 36. Índice de productividad total real versus propuesta.....	74

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Muestra de una oportunidad de mejora para eliminar operaciones excedentes.....	17
Ilustración 2. Procedimiento actual para programación.....	19
Ilustración 3. Mapa del flujo de valor.....	27
Ilustración 4. Proceso productivo.....	39
Ilustración 5. Pareto de pantalonetas ensambladas.....	41
Ilustración 6. Cursograma analítico de pantaloneta playera.....	42
Ilustración 7. Flujo del proceso playera.	42
Ilustración 8. Cursograma analítico de pantaloneta bermuda.	43
Ilustración 9. Flujo del proceso bermuda.	43
Ilustración 10. Cursograma analítico de pantaloneta Dúo	44
Ilustración 11. Flujo del proceso Dúo.	44
Ilustración 12. Cursograma analítico de pantaloneta boar junior.	45
Ilustración 13. Flujo del proceso boar junior.	45
Ilustración 14. Distribución de planta.	52
Ilustración 15. Gantt método actual semana 1 de producción.	65
Ilustración 16. Gantt método actual semana 2 de producción.	65
Ilustración 17. Gantt método actual semana 7 de producción.	65
Ilustración 18. Gantt obtenido del modelo, semana 1.	72
Ilustración 19. Gantt obtenido del modelo, semana 2.	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Historial de pantalonetas ensambladas en el Taller Textil.....	17
Figura 2. Planeación de la producción.....	28
Figura 3. VSM inicial de la referencia <i>Playera</i>	56
Figura 4. VSM propuesto de la referencia <i>Playera</i>	57

1 TÍTULO

Programación de la producción a partir de tiempos estandarizados para un taller del sector textil ubicado en el municipio de Tuluá.

2 PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN

“La industria textil es uno de los sectores más destacables de la economía colombiana, debido a que equivale al 6% del PIB y representa aproximadamente el 24% del empleo en el país”¹, por lo tanto, existe mucha competencia entre el sector provocando que se requiera de procesos productivos para poder sobrevivir en el mercado. El taller objeto de estudio, que en adelante será denominado “Taller Textil”, se encuentra ubicado en el municipio de Tuluá (Valle del Cauca), se dedica al maquilado de pantalonetas y cuenta con 5 operarios que brindan una disponibilidad de 220 horas de trabajo semanal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Tiempo disponible.

Tiempo disponible			
Operario	Horas diarias de lunes a viernes	Horas diarias sábado	Tiempo total
1	8	4	44
2	8	4	44
3	8	5	45
4	6	6	36
5	9	6	51
Total	39	25	220

Fuente: Taller Textil.

Además, es importante tener en cuenta que el Taller textil posee una completa gama de máquinas, entre ellas, fileteadoras, planas, enresortadora y collarin, con un total de 10 máquinas de coser y una máquina cortadora que permite recibir todo tipo de pantalonetas como se muestra en la tabla 2. Ahora bien, se debe tener en cuenta que “prácticamente toda actividad efectuada en un entorno de trabajo puede ser objeto de una investigación con miras a mejorar la manera en que se realiza”² y con las observaciones realizadas en el Taller Textil, se debe recalcar el bajo desempeño debido a la falta de estandarización en los procesos ya que los métodos actuales son totalmente empíricos y la secuencia actual muestra reprocesos como se puede evidenciar en la ilustración 1

¹ GARZÓN, Juan Esteban. Economía al Día, Industria Textil Colombiana 2018: telas inteligentes y tendencias ecológicas. Marzo 14 del 2018. [En línea]. Consultado en marzo 22 del 2019. Disponible en < <https://www.minuto30.com/industria-textil-colombiana-2018-telas-inteligentes-y-tendencias-ecologicas/573057/> >

² KANAWATY, George. Introducción al estudio del trabajo: Estudio de métodos y selección de trabajos. Cuarta edición. México: Oficina internacional del trabajo. 1996. p 78.

Tabla 2. Actualización tecnológica en el Taller Textil.

NOMBRE	MARCA	MODELO	TIPO DE MOTOR	AÑO
Máquina plana	Gemsy	GEM 7-28	Ahorrador	2010
Máquina plana	Siruba	L818F-M1	Ahorrador	2006
Máquina plana	Kinter	KT-8700	Ahorrador	2013
Máquina 20u	Jontex	JT-20U53	Tradicional	2011
Máquina fileteadora	Kinter	KT-757F	Ahorrador	2012
Máquina fileteadora	Jontex	JT- 737N	Tradicional	2013
Máquina fileteadora	Jontex	JT- 737N	Tradicional	2013
Máquina enresortadora	Ricoma	4408P	Ahorrador	2012
Máquina cerradora de codo			Tradicional	
Máquina collarín	Gemsy	GEM 500B-02	Tradicional	2013
Máquina cortadora			No aplica	2016

Fuente: Taller Textil.

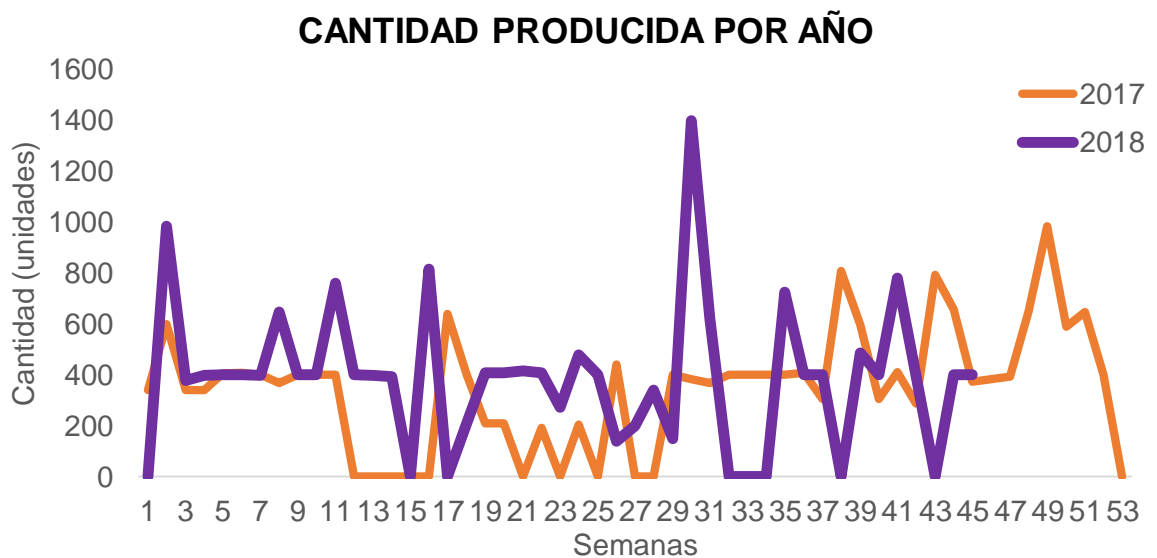
Ilustración 1. Muestra de una oportunidad de mejora para eliminar operaciones excedenes.

12,5 seg	○ Unir resortes	12,5 seg	○ Unir resortes
15,5 seg	○ Marcar resorte	15,5 seg	○ Marcar resorte
21,3 seg	○ Voltear prenda	0,5 seg	○ Cambio de hilos plana y 20U
72,7 seg	○ Ensamblar prenda, calzoneta y resorte	88,2 seg	○ Hacer ruedos
0,7 seg	○ buscar hilos enresortadora	72,7 seg	○ Ensamblar prenda, calzoneta y resorte
1,9 seg	○ Cambio de hilos enresortadora	1,9 seg	○ Cambio de hilos enresortadora
21,3 seg	○ Voltear prenda	21,3 seg	○ Voltear prenda
69,0 seg	○ Asentar resorte	69,0 seg	○ Asentar resorte
68,6 seg	○ Presillar remate del resorte	68,6 seg	○ Presillar remate del resorte
14,0 seg	○ Presillar entrepierna	14,0 seg	○ Presillar entrepierna
21,3 seg	○ Voltear prenda		
0,6 seg	○ Buscar hilos plana		
0,5 seg	○ Cambio de hilos plana y 20U		
88,2 seg	○ Hacer ruedos		
Actual		Propuesto	

Fuente: Autores.

Se debe tener en cuenta que la secuencia inadecuada mostrada anteriormente también puede influir en las fluctuaciones en el nivel de producción como se puede ver en la Figura 1. ya no cuentan con un plan de producción formal, lo que resulta de gran desventaja ya que es un sector que hoy en día está compitiendo en factores como el volumen de producción y la calidad que se tiene como resultado del proceso operativo.

Figura 1. Historial de pantalonetas ensambladas en el Taller Textil.



Fuente: Taller textil.

Actualmente el taller textil cuenta con un solo cliente que ofrece la cantidad de pantalonetas que el taller pueda ensamblar en una semana, sin embargo, normalmente se tiene una semana de inventario de insumos (sin incluir hilos e hilazas que los debe suplir el taller) como se puede observar en la tabla 3. para que el taller no deba parar sus actividades si termina la producción del lote antes de la entrega estimada.

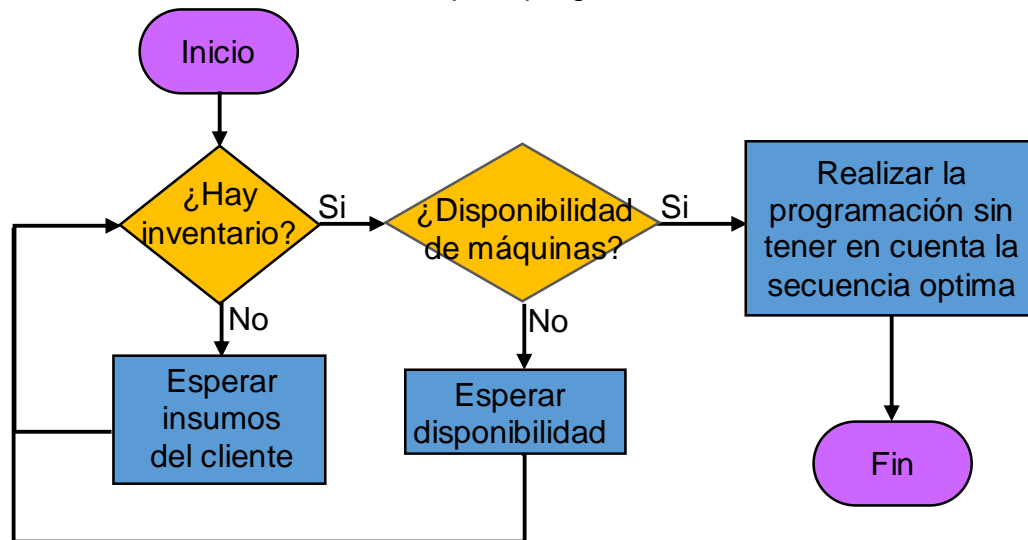
Tabla 3. Inventario de insumos.

semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Producción del lote 1	Entrega del lote 1	Entrega del lote 2	Entrega del lote 3
Inventario lote 2	Producción lote 2	Producción lote 3	Producción lote 4
	Inventario lote 3	Inventario lote 4	Inventario lote 5

Fuente: Taller textil

Teniendo en cuenta lo anterior, se podría decir que el taller debería estar preparado para tener la secuencia óptima de producción, pero los conocimientos empíricos que se manejan actualmente llevan a procedimientos erróneos ya que no se tiene en cuenta la secuencia óptima para realizar la programación como se puede observar en la siguiente ilustración.

Ilustración 2. Procedimiento actual para programación.



Fuente: Taller textil.

Se debe destacar que el método actual y los tiempos que se tardan al realizar la actividad productiva el taller escasamente permite que se mantenga en el mercado ya que el Taller textil tuvo un promedio por mes de 1819 unidades ensambladas en los últimos doce (12) meses mientras que “la competencia que posee la misma cantidad de operarios está alrededor de 2400 unidades al mes”³.

Ahora bien, según datos de la revista Dinero “el comercio de textiles y confecciones aumentó 1,4% en junio del año 2017. Esto, a juicio de expertos, se explica por las permanentes campañas de precios bajos a las que les han apostado las marcas”⁴, por lo tanto, con la estandarización y el método adecuado se podrá competir en volumen y calidad frente a las otras empresas dedicadas al maquilado de pantalonetas ubicadas en el municipio de Tuluá y en el departamento del valle del cauca, ya que se tiene que es una práctica que está siendo adoptada por empresas

³ LÓPEZ VELÁSQUEZ, Sady Enith (propietaria de un taller de maquilado textil de pantalonetas). Reunión para recolectar información del taller. Tuluá. Marzo del 2018.

⁴ Revista Dinero. Sector textil-confección en jaque, ¿cuál es el futuro? [En línea]. Consultado en marzo de 2018. Disponible en <<http://www.dinero.com/edicion-impres/pais/articulo/crisis-del-sector-textil-y-confeccion-en-colombia-2017/249271>>

dueñas de marca para poder tener flexibilidad en su producción y poder responder a los picos atípicos que presenta la demanda.

Por otro lado es importante mencionar que “Para una industria de confección, con un índice altamente mayor de manipulación de materiales, la aplicación de cualquier sistema de tiempos predeterminados es ventajosa al desarrollar métodos de trabajo menores, y por tanto con un menor tiempo de ejecución.”⁵ Lo cual es el objetivo principal del estudio para garantizar el posicionamiento de la maquila en el mercado local y regional, ya que “el escenario económico que vive el país como consecuencia de la globalización, caracterizado por la apertura de los mercados nacionales de bienes, servicios y financiero a inversiones extranjeras, trae una serie de repercusiones en la economía nacional”⁶ la cual dificulta este posicionamiento que se busca. Por datos de la empresa dueña de la marca principal cliente de la maquila se tiene el conocimiento de que en el municipio de Tuluá no es la única capaz de brindar este servicio de confección de pantalonetas y que al no disminuir los tiempos de producción para mejorar la capacidad de producción en volumen de entrega en los plazos establecidos por la empresa dueña de la marca finalizaran su relación redituable, lo cual sería una decisión crítica para el taller en cuestión.

Con este orden de ideas, es importante mencionar que la industria textil es directamente afectada por las tendencias y la moda y siendo un sector de mucha variabilidad en sus prácticas y de transformación extrema debido a “Factores como la tasa de cambio, la coyuntura económica de Venezuela, las crecientes importaciones asiáticas y los nuevos gustos de los consumidores”⁷, lo cual hace que el Taller Textil deba tener la capacidad de adaptarse a la fabricación de cualquier tipo de referencia de pantalonetas, para ello, es importante diseñar una estandarización de métodos y tiempos para proponer un plan de programación de producción que permita que el taller cumpla las condiciones del mercado en cuanto a cantidad y calidad, además, se debe optimizar los niveles de producción para cumplir los requisitos específicos del cliente y seguir siendo sostenibles en el mercado.

⁵Universidad tecnológica nacional. Ingeniería textil: Métodos, tiempos y movimientos. [En línea]. Consultado en marzo del 2018. Disponible en < <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/737/2/04%20IT%20096%20TESIS.pdf>>. p26.

⁶ PEÑA, Ivailo; Santa cruz, Rene, Modelo de planeación de la producción para una empresa agroindustrial, 2015. Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892001000200005.p3.

⁷ Revista Dinero. Industria de la moda sigue reinventándose. [En línea]. Consultado en marzo de 2018. Disponible en <<https://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/industria-de-la-moda-sigue-reinventandose/237316>>

3 FORMULACIÓN

¿Cuál es el plan de programación de la producción que permite al Taller Textil tener la proyección de mejor productividad?

4 JUSTIFICACIÓN

Para iniciar es importante mencionar que por medio de este estudio se busca demostrar que, al diseñar una propuesta de mejora para el método actual de producción de la empresa, se aumenta la capacidad de producción semanal, además se reducirán costos y tiempos de entrega al cliente por lo que se proyectara un efecto positivo para la productividad del taller textil.

La empresa necesita de un control en las operaciones y una medición en cada puesto de trabajo y por cada operario, dónde se indique su nivel productivo midiéndose por su eficiencia real, al realizarse un estudio de métodos y tiempos en el taller de confección.

Siguiendo este orden de ideas, se debe aclarar que los datos obtenidos mediante el estudio alimentarán un modelo de planeación y programación matemática de la producción en un flexible flow shop el cual permitirá obtener el número de trabajos y las secuencias optimas por puestos de trabajo (secuenciación) y posterior a esto se utilizara la secuencia obtenida para programar la producción asignando a cada máquina un trabajo teniendo en cuenta la configuración (programación) la cual le permitirá a la empresa alcanzar los objetivos de producción permitiendo visualizar así su posicionamiento en el mercado textil compitiendo con las marcas posicionadas actualmente en el municipio de Tuluá.

La modelación matemática es parte fundamental en el proyecto ya que actualmente se está presentando un sobre costo en los trabajos por el mal programa de producción que se tiene, el pago de horas extras a los operarios debido a su extensión en los horarios para poder dar cumplimiento a los objetivos impuestos por el cliente principal dificulta la obtención de utilidades del negocio por lo que se torna complejo el competir con los bajos precios impuestos por las competencias, variables como el costo de la mano de obra se optimizara y se disminuirá las horas de trabajo por medio de la correcta asignación de actividades por parte de la modelación la cual permitirá a la empresa poder cumplir sin problemas el programa de producción dando cumplimiento a los objetivos en volúmenes por parte del cliente principal y poder competir por precio con los competidores, además podrá incluso cumplir con volúmenes de producción mayores teniendo en cuenta la capacidad que se tienen actualmente instalada que está siendo subvalorada.

5 OBJETIVOS

1.2 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan de programación de la producción a partir de la estandarización de tiempos para un taller del sector textil ubicado en el municipio de Tuluá.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el método de programación actual mediante el cual se realiza la fabricación de las referencias, teniendo en cuenta factores como secuencia de tareas, lugar y personal utilizado.
- Evaluar las opciones de mejora en el método de programación de las referencias.
- Diseñar un método de programación mejorado teniendo en cuenta la estandarización de tiempos.
- Realizar el piloto del método de programación actual y el método mejorado, comparando mediante indicadores de gestión en tiempo real los dos escenarios.

6 MARCO REFERENCIAL

1.4 MARCO TEÓRICO

Para diseñar la propuesta del plan de programación de la producción se debe comenzar con estrategias que permitan alcanzar la estandarización de tiempos, para lo cual se optó por utilizar la metodología de value stream mapping (VSM), también conocido como mapa del flujo de valor, el cual “se basa en ver y entender un proceso en profundidad e identificar sus desperdicios (waste) y actividades que no agregan valor. (...) Con este tipo de herramientas se pueden detectar y desarrollar una ventaja competitiva y evitar fallos en el proceso, además de crear un lenguaje estandarizado dentro de la empresa para una mejor efectividad de los procesos y del personal”.⁸

Teniendo en cuenta lo anterior, una vez realizada la estandarización con la ayuda del estudio de tiempos de “introducción al estudio del trabajo”⁹ se procederá a iniciar la propuesta de plan de programación de la producción, por medio de la modelación matemática la cual permitirá la optimización de actividades y recursos y a su vez la disminución en los costos debido a la correcta asignación de trabajos en las estaciones, donde se tendrá en cuenta la cantidad que se debe producir, así como el momento en que debe realizarse, además, de la cantidad de inventarios requeridos para la producción.

Para finalizar, se realizará una simulación del método actual Vs el propuesto para analizar la productividad en estos dos escenarios.

1.4.1 Flow Shop

“Esta configuración productiva es considerada un caso general del job shop, en el que el problema de programación radica en secuenciar una cantidad de n trabajos, que siguen la misma ruta de procesamiento, en una serie de m maquinas ordenadas linealmente”¹⁰, “el problema de programación flow shop es un problema combinatorio bastante complejo, ya que la cantidad de posibles alternativas de secuenciación requeriría varios años si se quiere enumerar todas las posibilidad de un problema grande”¹¹

⁸ PROGRESSA LEAN. Herramienta lean: VSM ¿cómo identificar el desperdicio? 2018. [En línea]. Disponible en <<http://www.progressalean.com/vsm-value-stream-mapping/>>

⁹ KANAWATY, G. Op. Cit.

¹⁰ M. L. Pinedo, Planning and Scheduling in Manufacturing and Services. New York: Springer Science + Business Media, LLC, 2005.

¹¹ H. Hentous, and B. Merabti, “A branch and bound heuristic for the flow shop problem”, in 2010 Fourth International Conference on Sensor Technologies and Applications, pp. 352-356, 2010.

1.4.2 Flow shop híbrido flexible

“Se define el flow shop híbrido (HFS) como un caso especial del flow shop que posee un conjunto de n trabajos a ser procesados en una serie de m etapas”¹². “En donde al menos una de las etapas tiene más de una máquina en paralelo y se busca optimizar el proceso productivo en términos de cierta función objetivo”¹³. “El problema consiste en resolver la distribución de las máquinas paralelas y la secuencia de los trabajos programados en la misma máquina con el fin de minimizar el máximo tiempo de flujo”¹⁴.

En términos generales, “el flujo de los productos en la planta es unidireccional, cada producto se procesa en sólo una máquina en cada etapa y debe pasar por todas las etapas antes de su salida de la planta, y cada etapa tiene máquinas que pueden ser idénticas, uniformes, o no relacionadas”¹⁵.

“Los sistemas de producción que poseen máquinas paralelas pueden ser clasificados en tres grupos, en función de los tiempos de procesamiento de los trabajos en las máquinas”¹⁶:

- Máquinas paralelas idénticas, cuando los tiempos de procesamiento son los mismos para cada máquina.
- Máquinas paralelas uniformes, cuando las máquinas tienen una relación paramétrica en términos del tiempo de procesamiento.
- Máquinas paralelas no relacionadas, si las diferencias entre los tiempos de procesamiento en las máquinas no pueden ser expresadas en una relación paramétrica.

Al estudiar un problema estándar del HFS, se deben suponer ciertas condiciones: “que las máquinas en una etapa determinada son idénticas, una máquina puede procesar sólo una operación a la vez, cada trabajo tiene que ser procesado en exactamente una máquina en cada etapa, los tiempos de alistamiento son insignificantes y las capacidades de los amortiguadores son ilimitadas”¹⁷.

¹² F. S. Yao, M. Zhao, and H. Zhang, “Two-stage hybrid flow shop scheduling with dynamic job arrivals”, *Computers & Operations Research*, vol. 39, 2012. p. 1701.

¹³ S. Wang, and M. Liu, “A heuristic method for two-stage hybrid flow shop with dedicated machines”, *Computers & Operations Research*, vol. 40, 2011. p. 438.

¹⁴ P. Qiao, and C. Sun, “Research on hybrid flow-shop scheduling problem based on improved immune particle swarm optimization”, in *2011 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce (AIMSEC)*. 2011. p. 4240.

¹⁵ M. Gholami, M. Zandieh, and A. Alem-Tabriz, “Scheduling hybrid flow shop with sequence-dependent setup times and machines with random breakdowns”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 42, 2009. p. 189..

¹⁶ E. Cevikcan, M. B. Durmusoglu, and M. Baskak, “Integrating parts design characteristics and scheduling on parallel machines”, *Expert Systems with Applications*, vol. 38, 2011. p. 13232.

¹⁷ C. Gicquel, L. Hege, M. Minoux, and W. van Canneyt, “A discrete time exact solution approach for a complex hybrid flow-shop scheduling problem with limited-wait constraints”, *Computers & Operations Research*, vol. 39, 2012. p. 629.

“Los flow shop híbridos pueden clasificarse en dos tipos de acuerdo a los flujos de producción: aquellos con flujos unidireccionales, en el que cada trabajo empieza en la primera etapa y termina en la última etapa, y aquellos con flujos reentrantes en los que cada trabajo puede visitar cada etapa más de una vez”¹⁸.

“Si en el proceso no existen amortiguadores entre dos estaciones sucesivas, el problema de programación de un flow shop ordinario se convertirá en un flow shop de bloqueo. En este caso, un trabajo no puede dejar una máquina hasta que la siguiente esté disponible, se dice entonces que el trabajo está siendo bloqueado en esta máquina”¹⁹.

1.4.3 La problemática de la programación en un flow shop híbrido flexible

“El problema clásico del flow shop híbrido flexible (HFFS, por sus siglas en inglés) supone un conjunto de n trabajos que deben ser procesados en m etapas”²⁰. “Cada etapa contiene varias máquinas paralelas idénticas y la ruta de proceso es similar para cada trabajo, y cada trabajo será procesado por sólo una de las máquinas en cada etapa;”²¹ “teniendo en cuenta un conjunto de suposiciones estándar, el objetivo es encontrar la programación que logre el mínimo makespan”²².

“Otros objetivos que se buscan con la programación en un flow shop híbrido son la minimización de la suma total de penalidades por las culminaciones tempranas y tardías, y también, maximizar el número de trabajos conformes de acuerdo a la secuencia esperada”²³. Asimismo, es necesario reconocer que en la realidad actual, “ganar eficiencia en la producción es tan importante como asegurar que los pedidos se entreguen tan cerca como sea posible de su fecha de vencimiento”²⁴.

1.4.4 Value stream mapping (VSM)

“VSM es una técnica gráfica que permite visualizar todo un proceso, permite detallar y entender completamente el flujo tanto de información como de materiales necesarios para que un producto o servicio llegue al cliente, con esta técnica se

¹⁸ H. S. Choi, J. S. Kim, and D. H. Lee, “Real-time scheduling for reentrant hybrid flow shops: A decision tree based mechanism and its application to a TFT-LCD line”, *Expert Systems with Applications*, vol. 38, 2011. p. 3514.

¹⁹ S. W. Lin, and K. C. Ying, “Minimizing makespan in a blocking flowshop using a revised artificial immunology

²⁰ F. Jabbarizadeh, M. Zandieh, and D. Talebi, “Hybrid flexible flowshops with sequence-dependent setup times and machine availability constraints”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 57, pp. 949-957, 2009. tem algorithm”, *Omega*, vol. 41, pp. 383-389, 2013.

²¹ M. R. Amin-Naseri, and M. A. Beheshti-Nia, “Hybrid flow shop scheduling with parallel batching”, *International Journal of Production Economics*, vol. 117, 2009. p. 185

²² K. R. Baker and D. Altheimer, “Heuristic solution methods for the stochastic flow shop problem”, *European Journal of Operational Research*, vol. 216, 2012. p. 172.

²³ Z. Han, H. Shi, F. Qiao, and L. Yue, “DE solution for the earliness/tardiness case of hybrid flow-shop scheduling problem with priority strategy”, in *Proceedings of the 2011 International Conference on Modelling, Identification and Control*, 2011. p. 11.

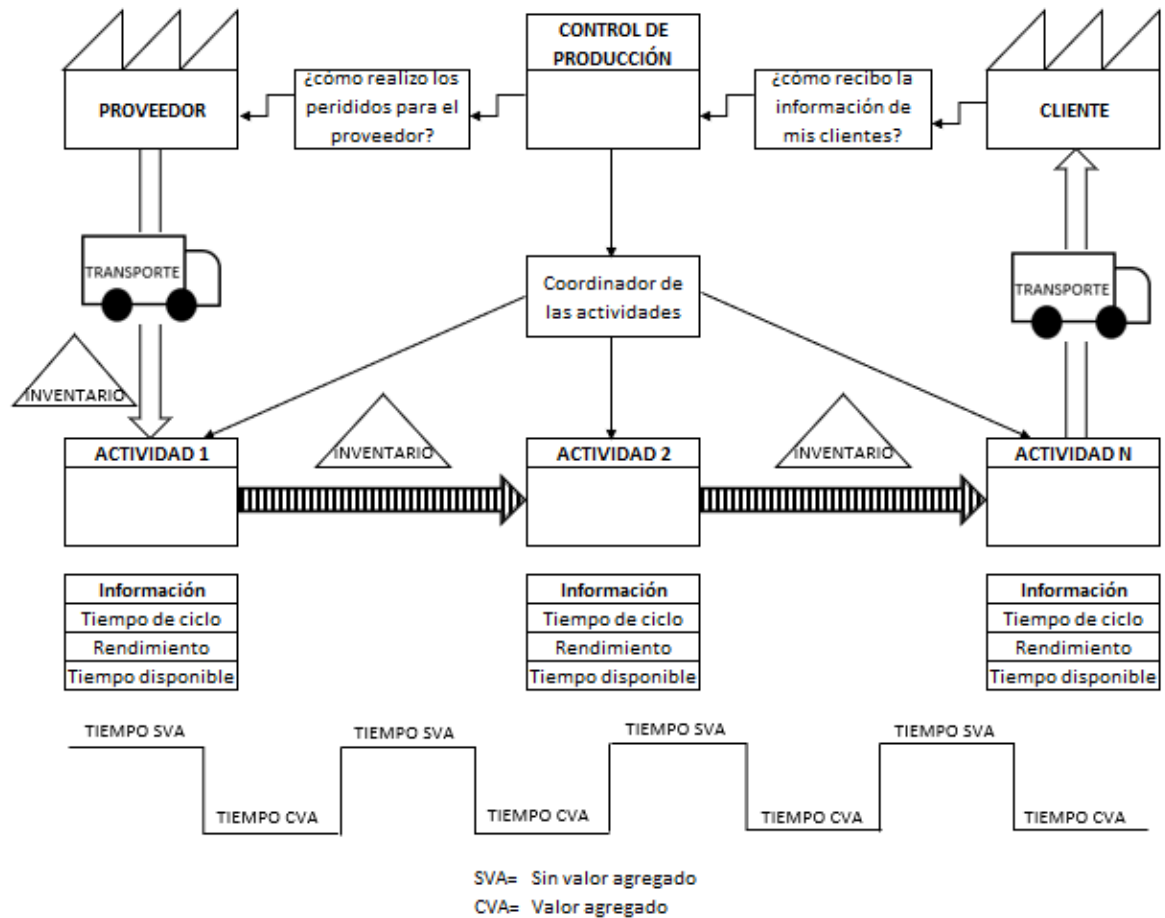
²⁴ C. S. Huang, Y. C. Huang, and P. J. Lai, “Modified genetic algorithms for solving fuzzy flow shop scheduling problems and their implementation with CUDA”, *Expert Systems with Applications*, vol. 39, 2012. p. 4999.

identifican las actividades que no agregan valor al proceso para posteriormente iniciar las actividades necesarias para eliminarlas”²⁵.

Implementación de un VSM

- **Fase 1.** Selección de la familia de productos a las que se le realizará el respectivo análisis.
- **Fase 2.** Realizar el mapa de la situación actual. Ver ilustración 3.

Ilustración 3. Mapa del flujo de valor.



Fuente: Autores.

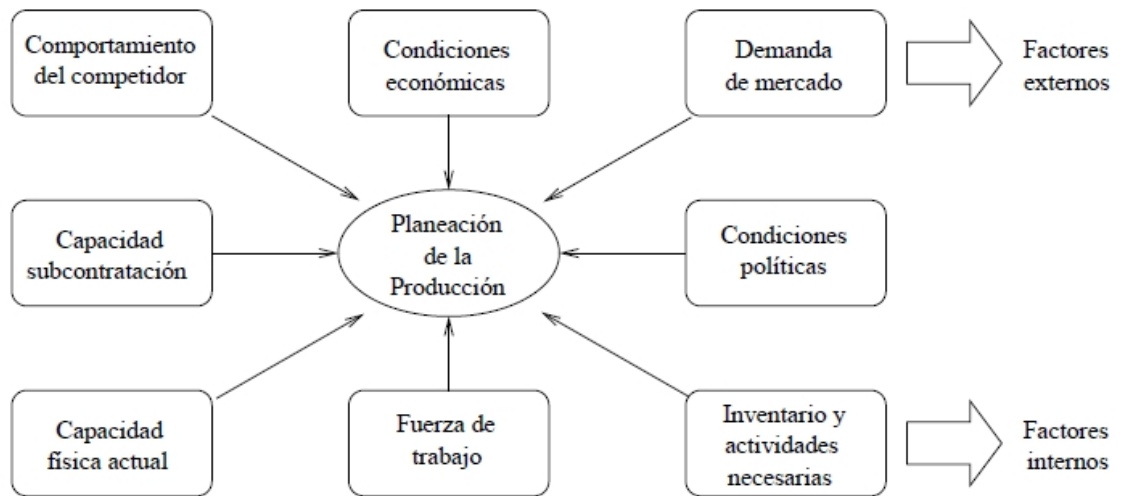
- **Fase 3.** Analizar la situación actual.
- **Fase 4.** Realizar el mapa de la situación futura con las mejoras que se pretenden lograr.
- **Fase 5.** Realizar plan de mejora e implementarlo.

²⁵ LEAN SOLUTIONS. VSM, Value stream mapping. ¿Qué es VSM? Bogotá, Colombia. [En línea]. Consultado en 2018-09-03. Disponible en <<http://www.leansolutions.co/conceptos/vsm/>>

1.4.5 Planeación y control de la producción.

“La Planeación de la Producción tiene como objetivo prever y movilizar todos los recursos necesarios para la producción de un bien, o para la prestación de un servicio, en el plazo adecuado y en las cantidades correctas. Eso implica la determinación y cálculo de todos los recursos necesarios a la ejecución de las órdenes de producción”²⁷. Teniendo esto en cuenta y dándole valor a la programación que es un método de optimización matemática que garantiza que todas las variables tanto internas como externas que puedan afectar la planeación de la producción disminuyan su variabilidad y puedan ser controladas al punto de mejorar el performance del programa productivo. A continuación, se puede evidenciar la integración de estas variables ya mencionadas dentro del plan de producción.

Figura 2. Planeación de la producción



Fuente: CHASE, Louis R. y AQUILANO, Nicolás. Dirección y Administración de la Producción y de las Operaciones. Irwin, 1994.

1.4.6 Programación de la producción

En la programación de la producción se pueden identificar dos fases claramente, secuenciación y programación. La secuenciación consiste en asignar los recursos en el tiempo para la consecución de un conjunto de tareas o actividades, previo a esto, la planificación de la producción ya se ha realizado, es decir, se conocen los productos a fabricar, las cantidades, la configuración, disposición y cantidad de recursos disponibles, la secuenciación es de vital importancia para las empresas ya que se logra determinar la configuración óptima para cada trabajo reduciendo el tiempo de procesamiento de los productos.

²⁷ PEÑA, Ivailo y SANTA CRUZ, Rene. Modelo de planeación de la producción para una empresa agroindustrial. 2015. [en línea]. Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892001000200005. p. 6.

Siguiendo el orden de ideas realizando previamente la secuenciación de actividades como insumo de la programación de la producción que se entiende como la asignación de los trabajos a las máquinas (asignación), la ordenación de los trabajos asignados a cada máquina (secuenciación) y la obtención de los tiempos de inicio y finalización de cada trabajo (programación).

Del mismo modo y para entender mejor estos conceptos se procede a realizar una clasificación de los distintos problemas de secuenciación atendiendo a la configuración productiva.

“Problemas de una máquina: solo existe una máquina y cada trabajo solo tiene una operación. No hay problema de asignación, pero sí de secuenciación.

Problemas de máquinas paralelas: existen dos o más máquinas dispuestas en paralelo, donde los trabajos solo tienen una única operación. En general, se tienen que asignar y secuenciar los trabajos en las máquinas, aunque dependerá del objetivo optimizar. Los problemas de máquinas paralelas pueden asimismo dividirse según la naturaleza de las máquinas en”²⁸:

- Máquinas paralelas idénticas: cada trabajo se procesa a la misma velocidad con independencia de la máquina a la que ha sido asignado.
- Máquinas paralelas uniformes: algunas máquinas son capaces de procesar todos los trabajos más rápido (o lento) que las demás. A veces se las llama máquinas proporcionales.
- Máquinas paralelas no relacionadas: la velocidad de proceso depende de la máquina y del trabajo que está procesando. Es un caso más general que engloba a los otros dos”.

“Problemas de tipo taller. En estos problemas, existen varias etapas que se deben visitar para completar los trabajos. Adicionalmente, existe una relación de precedencia entre las etapas para cada trabajo. A esta relación se la denomina ruta. Los problemas de tipo taller se subdividen a la vez atendiendo a las características de las rutas en:

- Taller abierto: no existe ninguna restricción en la ruta, por lo que las operaciones pueden efectuarse en cualquier orden.
- Taller de flujo: todos los trabajos tienen la misma ruta, es decir, existe una ordenación previa de etapas o máquinas que es la misma para todos los trabajos.
- Taller de trabajo: cada trabajo tiene su propia ruta a seguir dentro de las máquinas.”

Teniendo en cuenta lo anterior y nombrando el caso puntual del taller textil en cuestión que se clasifica como un problema tipo flow shop, se conocen diferentes

²⁸ FANJUL PEYRÓ, Luis. Nuevos algoritmos para el problema de secuenciación en máquinas paralelas no relacionadas y generalizaciones. Universidad politécnica de valencia. 2010. tesis doctoral en línea <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/9312/tesisUPV3454.pdf>. p. 51.

formas de darle solución al problema de secuenciación como son las reglas de despacho, la metaheurística y la modelación matemática.

1. El método de **reglas de despacho** es de gran utilidad ya que sus aplicaciones se pueden evidenciar en la literatura en casos sencillos, pero de mucha utilidad y adaptación, pero que por lo general estos se encuentran limitados en las maquinas o trabajos en cuanto a las combinaciones que pueden realizarse con el factor $n * m$ donde n son los trabajos y las máquinas.
2. “Los **procedimientos metaheurísticos** son una clase de métodos aproximados que están diseñados para resolver problemas difíciles de optimización combinatoria, en los que los heurísticos clásicos no son efectivos”³¹.
3. La **modelación matemática** facilita el estudio de los sistemas teniendo en cuenta la interacción de los componentes, permitiendo optimizar la función objetivo de un problema en particular.

Teniendo en cuenta lo anterior, el método más adecuado para diseñar la programación de la producción en el taller textil es un modelo de programación lineal mixta (modelación matemática) ya que éste proyecto está dentro rango permitido de trabajos (4 referencias) y el límite del método para dar solución a los problemas viene dada por la expresión $n * m$ donde n son el número de trabajos y m número de máquinas permitiendo dar solución a nuestro caso puntual.

1.4.7 Programación de operaciones

“Consiste en establecer detalladamente dónde y cuándo va a realizarse cada orden; un programa indica qué orden específico se va a realizar en un medio específico durante un intervalo de tiempo concreto”³².

A continuación, se abordan los interrogantes del “como” y “cuando”, los cuales se interpretan como problemas de asignación, del mismo modo, se estudia el “Donde”, cualidad que hace referencia al problema de la flexibilidad por múltiples rutas.

La dificultad del problema de asignación consiste en que se trata de un problema combinatorio, lo cual indica que entre mayor sea el número de trabajos y maquinas, mayores serán las posibles soluciones.

³¹ IBRAHIM H.,Osman and JAMES P., Kelly. Meta-Heuristics: Theory and Applications. Ed. Kluwer Academic. Boston. 1996.

³² COMPANYS PASCUAL, Ramón; FONOLLOSA, Joan B. Nuevas técnicas de gestión de stocks: MRP y JIT. Alfaomega grupo editor, S.A. México. 1999. p. 16.

Para generar un mejor entendimiento, se presenta un planteamiento general del modelo matemático para problemas de asignación tomado de Sinha³³.

Generalmente, este tipo de problemas se componen de una variable de decisión binaria, la cual tiene como finalidad asignar o no un recurso para cada operación a realizar, la cual se define a continuación.

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si se asigna el recurso } j \text{ para procesar el trabajo } i \\ 0, & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (1)$$

Si, además, se define C_{ij} como el costo asociado a asignar el recurso i para llevar a cabo el trabajo j , la función objetivo se compone de la siguiente ecuación.

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^n C_{ij} \sum_{i=1}^n X_{ij} \quad (2)$$

De esta forma, se garantiza que el resultado obtenido por el modelo matemático, sea la combinatoria que presente menor costo. Sin embargo, esta solución aún no presenta resultados factibles, puesto que no existen condiciones que garanticen el cumplimiento de todas las operaciones. Por lo tanto, se definen las siguientes restricciones:

En primera instancia, se define la restricción de satisfacción o cumplimiento de la totalidad de los trabajos, la cual garantiza que para cada trabajo se asigne mínimo una máquina para su procesamiento.

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} \geq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Por otro lado, se define la restricción de utilización de recursos, la cual garantiza que para cada trabajo se asigne máximo 1 máquina, con el fin de optimizar la utilización de recursos.

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \geq 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Finalmente, lo que se obtiene, es un modelo programación lineal entera, el cual como se mencionó anteriormente puede llegar a ser complejo de resolver cuando se somete a ciertas condiciones que amplían el conjunto de soluciones posibles, por ejemplo, grandes cantidades de trabajos y/o máquinas, o también, cuando es combinado con la problemática de flexibilidad de los procesos productos, es decir, cuando se presentan escenarios con máquinas idénticas paralelas que permiten soluciones por múltiples rutas.

³³ SINHA, S. M. Mathematical Programming. Elsevier. (2006).

1.4.8 indicadores

“Un indicador es una herramienta que permite determinar el estado actual o estado meta con respecto a un objetivo planteado, el cual relaciona dos o más variables y parámetros para su determinación”³⁴

Con el objetivo de evaluar el rendimiento del modelo se plantean indicadores que relacionan la eficiencia y la productividad, los cuales serán tratados a continuación, los indicadores mostrados a continuación son para el proceso de elaboración de cada una de las referencias de pantalonetas escogidas para el análisis y a su vez al final un indicador en conjunto para todo el proceso productivo.

Indicadores de productividad y eficiencia

“La eficiencia es el uso óptimo de y adecuado de los recursos, es gestionar y utilizar de la manera más adecuada los recursos que tenemos”³⁵. “La productividad se refiere a la relación entre la cantidad de productos obtenidos mediante un sistema productivo y los recursos empleados en su producción”³⁶ Es un error común considerar que estos dos conceptos son iguales, sin embargo, su diferencia radica en que la eficiencia consiste en el alcance de los objetivos con una cantidad de recursos mínima, y la productividad muestra la capacidad que se tiene para producir un bien o un servicio con relación al tiempo.

Indicador de productividad (IP): Relación Entre la cantidad de productos producidos y el tiempo necesario para la producción de estos.

$$IP = \frac{\text{número de productos producidos}}{\text{Tiempo total}} \quad (5)$$

Indicador de eficiencia(IE): Este indicador se enfoca a la utilización de las máquinas y tiempo ocioso generado en el proceso de confección de las piezas, se expresa como la relación entre el tiempo en el que la maquinaria está en uso y el tiempo total disponible. Para una mejor visualización del indicador se levanta para cada operación. Los valores fueron extraídos del estudio de tiempos ya mencionado en la tabla 7, los datos están expresados en segundos, en las columnas se encontramos, tiempo de inicio de operación a la cual se hace referencia al momento en el que la operación es iniciada, momento fin de operaciones, tiempo en el que se terminan todas las operaciones.

³⁴ Publica. Guía para la construcción y análisis

³⁵MEJÍA, Jeison. conceptos ingeniería industrial: Eficacia, eficiencia y efectividad. En línea. [Consultado en marzo de 2019]. Disponible en < <http://conceptosingindustrial.blogspot.com/2014/10/eficacia-eficiencia-y-efectividad.html> >

³⁶Significados. Significado de productividad. [Consultado en 7 de febrero de 2019]. En línea. Disponible en: < <https://www.significados.com/productividad/> >

$$\%T\text{ tiempo de utilización} = \frac{\text{Tiempo en uso}}{\text{Tiempo total disponible}} * 100\% \quad (6)$$

$$\%T\text{ tiempo ocioso} = 1 - \%TU \quad (7)$$

1.5 MARCO HISTÓRICO

Conforme al diagnóstico realizado en la empresa y basados en el historial de producción y cumplimiento al cliente se puede determinar que los índices de productividad de la empresa son bajos y conforme a un estimado realizado por el cliente principal del taller en cuestión se identifica que estos se encuentran por debajo de los de la competencia por lo que se requiere un plan inmediato de acción para poder incrementar la producción y poder dar respuesta a las necesidades del cliente y seguir en el mercado. Se inicia el proyecto de investigación para dar solución a la problemática presentada en la empresa donde se parte de revisar los antecedentes de proyectos similares en problemáticas iguales o muy parecidas buscando direccionar de la mejor manera las alternativas de solución para el proyecto actual.

Ahora bien un primer trabajo corresponde a Claudia Salinas y Nicolás Quiñonez, quienes realizaron un “sistema de mejora continua en el área de producción de la empresa textiles betex S.A.C utilizando la metodología PHVA”³⁷ en este se manejaron herramientas propias de la ingeniería industrial como Six sigma, Total quality management(TQM), mantenimiento total productivo (TPM), Kaizen, 5S’ entre otras herramientas que llevaron el sistema hacia el sistema aplicativo denominado lean manufacturing que permitió llevar a la compañía a mejorar su productividad mediante la disminución en sus unidades producidas defectuosas, ordenar los puestos de trabajo y con esto reducir los tiempos y mejorar los métodos para poder dar cumplimiento del programa de producción y de las entregas realizadas a los clientes; como resultado de este proyecto se permitió determinar el tiempo óptimo de ciclo por unidad, se incrementó el índice de eficacia además se mejoraron los puestos de trabajo esto contribuyendo al mejoramiento de método y mejorando el ambiente laboral en la empresa.

Del mismo modo como referente un segundo trabajo por parte de David Rojas, quien realizó una “Propuesta de estandarización de métodos y tiempos en el proceso

³⁷ QUIÑONEZ VILLA, Nicolás y SALINAS GAMBOA, Claudia. Sistema de mejora continua en el área de producción de la empresa "TEXTILES BETEX S.A.C" utilizando la metodología PHVA. Lima, Perú. 2016. [en línea]. Disponible en < http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/usmp/2140/1/quinonez_salinas.pdf >

productivo de la empresa industrias sur EU”³⁸ que conforme a la difícil situación que enfrentan las empresas del sector textil se vio a la necesidad de realizar la propuesta mencionada donde mediante observación directa se hizo la recolección de datos como el método empleado para la actividad productiva, tiempo de ciclo por unidad y la ubicación de puestos de trabajo para poder optimizarlos mediante la toma de tiempos y la observación de movimientos de los trabajadores para poder mejorar el método y lograr el tiempo óptimo para las actividades permitiendo mejorar la eficiencia, eficacia y productividad de la empresa para poder llegar de nuevo al mercado competitivo, Pues el alto costo de las materias primas, fletes, mano de obra y energía no permiten a las empresas de este sector pertenecer a él. Por lo que la reducción de tiempos y mejoramiento de métodos resulta adecuada para el mejoramiento de los índices de productividad y poder dar cumplimiento al programa de producción de forma eficiente, por lo que este proyecto concluyo que se eliminaron diferentes actividades innecesarias que atrasaban el cumplimiento adecuado de programa de producción y al estandarizar los tiempos se lograra tomar control sobre todos los colaboradores aumentando la eficiencia por cada puesto de trabajo.

Un tercer trabajo por parte de Carlos y Antonio en la empresa textil Confecciones Chávez Cajamarca S.A.C específicamente en la línea de producción de polos, shorts, buzos, entre otros artículos deportivos habla sobre cómo se encontró ineficiente la línea debido al desorden de los puestos de trabajo, la no existencia de controles de producción, la falta de estandarización de tiempos, flujo de operación no definido, sin control de materiales, movimientos innecesarios, reprocesos y rechazos por no cumplir con las especificaciones del cliente frente al producto y/o a reclamos por parte del mercado. El principal objetivo del proyecto fue mejorar la línea corrigiendo y ordenando los procesos y actividades de la línea permitiendo incrementar la productividad y eficiencia de la línea donde se concluyó que “al mejorar el proceso de producción de polos deportivos aplicando Lean Manufacturing, incremento significativamente la productividad en la línea y así mismo el de la empresa”³⁹

Un cuarto trabajo por parte de Arredondo, Ocampo, Orejuela, Rojas quienes proponen un “modelo de planeación y control para una industria del sector textil en un sistema de producción make to order que busca calcular las cantidades a producir en el taller de textil y la cantidad a maquilar, buscando maximizar utilidades para la empresa en el horizonte de planeación, además de esto por medio del

³⁸ ROJAS RUIZ, David. Propuesta de estandarización de métodos y tiempos en el proceso productivo de la empresa industrias SUR EU. 2015. [en línea]. Disponible en <
<http://repositorio.ucp.edu.co:8080/jspui/bitstream/10785/3906/1/DDMIIND15.pdf> >

³⁹ QUEVEDO ZALDÍVAR, Carlos Enrique y VÁSQUEZ SÁNCHEZ, José Antonio Mejora en el proceso de producción de polos aplicando lean manufacturing para incrementar la productividad en la empresa textil confecciones Chávez Cajamarca S.A.C. 2017.

modelo secuenciar las actividades en el taller para minimizar el “make span”, con lo mencionado anteriormente se pretende facilitar el proceso de toma de decisiones permitiendo direccionar el negocio hacia las mejores oportunidades”⁴⁰.

del mismo modo, se tiene como referencia un quinto trabajo que habla sobre “la unificación de un marco para planear y programar la producción en sistemas make to order, donde se busca la jerarquización de la producción por medio de conceptos y métodos para dar solución al problema desde el enfoque basado en proyectos.”⁴¹

Finalmente se evidencia en un sexto trabajo y la “aplicación de una metodología que incluye como su pilar un modelo meta heurístico basado en algoritmos genéticos multiobjetivos (elitist non. Dominated sorting genetic algorithm, NSGA-II) en estación de trabajo bajo la producción flow shop y minimizar las variables fundamentales de procesos como lo son: tiempo total del proceso, accidentalidad laboral y costo de energía”⁴²

5.3. MARCO CONCEPTUAL

Value stream mapping: Herramienta Lean que se utiliza para realizar un mapa del flujo de valor en la compañía.

Sistema de producción: “es aquel que tiene una entrada (insumo), los cuales sufren un proceso de transformación y una salida (producto), realimentándose el mismo a través de un proceso de control”⁴³

Distribución de planta: Organización física de los elementos de una instalación, el cual tiene en cuenta el requerimiento de almacenamiento, movimientos, procesos de producción de bienes o servicios y espacio disponible para los colaboradores directos e indirectos de la organización.

Modelación Matemática: “constituye un enfoque multicriterio de gran potencialidad cuando el contexto decisional está definido por una serie de objetivos que deben satisfacer un determinado conjunto de restricciones. Como la optimización simultánea de todos los objetivos es usualmente imposible, pues en la vida real usualmente los objetivos se encuentran en conflicto, el enfoque multiobjetivo, en vez

⁴⁰ ARREDONDO ORTEGA, Gerson; OCAMPO JARAMILLO, Kelly Vanessa; OREJUELA CABRERA Juan Pablo y ROJAS TREJOS, Carlos Alberto. Modelo de planeación y control de la producción a mediano plazo para una industria textil en un ambiente make to order. [en línea]. Disponible en < <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v16n30/1692-3324-rium-16-30-00169.pdf>>_2015

⁴¹ P. Egri, A. Kovács, A. Marcus and J. Vánza, “Project-Oriented approach to production planning and scheduling in Make to Order Manufacturing”, Production Systems and Information Engineering, vol. 2, No. 1, Diciembre 2004, pp. 22-36.

⁴² S. Ruiz, O. D. Castrillón and W. A. Sarache, “A Multiobjective Methodology to Optimize a Job Shop Environment”, Información Tecnológica, vol. 23, No. 1, Abril 2011, pp. 35-46.

⁴³ CORTES SORIANO, Yarisma y HERNÁNDEZ GONZÁLES, Luis. Los sistemas de producción e una empresa. Citado en 2016-06-13. [En línea]. Consultado en 2018-09-12. Disponible en < <https://www.emprendices.co/los-sistemas-produccion-una-empresa/>>

de intentar determinar un no existente óptimo, pretende establecer el conjunto de soluciones existentes.”⁴⁴

Plan de producción: Actividad que detalla el proceso de fabricación de los productos que se tiene planeado vender, el cual, tiene en cuenta los recursos físicos y humanos que busca eficiencia y productividad dentro de la empresa.

Mano de obra: “es la cantidad de fuerza de trabajo (o trabajo del hombre), aplicada en el proceso de transformación”⁴⁵.

Capacidad de producción: “hace referencia a todo aquello que la empresa puede producir en condiciones normales, es decir representa el volumen ideal de producción de productos que la empresa puede fabricar”⁴⁶

Software: “Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora”⁴⁷.

⁴⁴GARZA RIOS, Rosario; GONZÁLEZ SÁNCHEZ, Caridad. Modelo matemático para la planificación de la producción en la cadena de suministro. 2004. [En línea]. Consultado el 4 de diciembre de 2018. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/49594894_MODELO_MATEMATICO_PARA_LA_PLANIFICACION_DE_LA_PRODUCCION_EN_LA_CADENA_DE_SUMINISTRO>

⁴⁵ TORRES, Jairo Humberto. Elementos de producción, planeación y control. Vol. II. Universidad católica de Colombia. Editorial puntos gráficos. Colombia 1994. p.15

⁴⁶ CHIAVENATO. Op. Cit., p.54.

⁴⁷ Diccionario de la real academia española. [En línea]. Consultado en 2018-09-12. Disponible en <<http://dle.rae.es/?id=YErIG2H>>

7 METODOLOGIA

1.6 DELIMITACIÓN DEL TEMA

El proyecto de investigación busca diseñar la programación de la producción por medio de la modelación matemática teniendo en cuenta la estandarización de tiempos en un taller textil dedicado al maquilado de pantalonetas ubicado en el barrio Victoria en Tuluá, Valle del Cauca.

1.7 CLASE DE INVESTIGACIÓN

1.7.1 Clase de investigación

La investigación que se llevará a cabo será de clase aplicada, ya que “se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren”⁴⁸ con el fin de diseñar una propuesta de plan de la programación de producción en el taller textil a partir de la estandarización de los tiempos con la ayuda de las diferentes herramientas y métodos que se vieron durante el transcurso de la carrera.

1.7.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación que se llevará a cabo será de tipo descriptiva dado que “consiste en llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variable”⁴⁹.

1.8 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta el objetivo del proyecto, se utilizará el método de investigación deductivo ya que se requiere el conocimiento de cada uno de los procesos que intervienen en el taller textil para extraer la información necesaria como el flujo del proceso y restricciones del taller para alimentar el modelo matemático con el fin de sacar la secuencia optima que permita dar a conocer el diseño de programación de la producción.

⁴⁸ MARÍN VILLADA, Alba Lucía. Metodología de la investigación, clasificación de la investigación. Citado en 2008-03-07. [En línea]. Consultado en 2018-08-25. Disponible en <<https://metinvestigacion.wordpress.com/>>

⁴⁹ VAN DALEN, Deobold B. y MEYER, William J. Manual de técnica de la investigación educacional. Síntesis de “estrategia de la investigación descriptiva”. Citado en 2006-09-12. [En línea]. Consultado en 2018-08-25. Disponible en <<https://noemagico.blogia.com/2006/091301-la-investigaci-n-descriptiva.php>>

1.9 FUENTES Y TECNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

1.9.1 Fuentes primarias

Para el desarrollo del proyecto se utilizarán datos existentes del taller textil con la participación de Sady Enith López Velásquez, propietaria del taller, y la observación directa por parte de los autores que con la ayuda de un cronómetro en mano se obtendrá los datos como herramientas para la recolección de información.

1.9.2 Fuentes secundarias

Para la elaboración del proyecto se acudirá a libros de texto, publicaciones, artículos de revistas y trabajos realizados anteriormente con el fin de tener una guía y bases para el correcto desarrollo de este.

1.9.3 Análisis de datos

Todo tipo de investigación requiere la realización de un análisis de información con el fin de resolver las preguntas que dieron inicio al proyecto, esto se debe a que los datos por si mismos no muestran el propósito con el cual fue recolectado.

Es importante tener en cuenta la afirmación que brinda Carlos Sabino para no comenzar a recolectar datos aleatoriamente que al final no servirán de nada si no se tiene un propósito: “todo investigador que domine su tema y trabaje con rigurosidad deberá tener una idea precisa de cuales serán los lineamientos principales del análisis antes de comenzar a recolectar datos”⁵⁰.

Teniendo en cuenta lo anterior, el análisis que se realizará será de forma cuantitativa a partir de los datos recolectados durante la observación de los procesos productivos del taller textil.

1.9.3.1 Análisis cuantitativo

“El análisis cuantitativo permite ordenar los datos numéricos a tratar en investigación, de ahí su importancia en la aplicación en la investigación en curso. El uso de tablas, cuadros y medidas será necesario para ordenar la información permitiendo que se puedan observar los resultados que permitan alcanzar los objetivos propuestos”⁵¹.

⁵⁰ SABINO, Carlos. El Proceso de Investigación. Ed. Panapo, Caracas, 1992. p.219.

⁵¹ SALAZAR ZULUAGA, Yessica Alejandra; PATIÑO MONTOYA, Erika Fernanda. Diseño de un modelo de costeo basado en la metodología ABC para manufacturas paraíso de Tuluá. Trabajo de grado contador público. Tuluá valle del cauca. Universidad del valle. 2017. p.36.

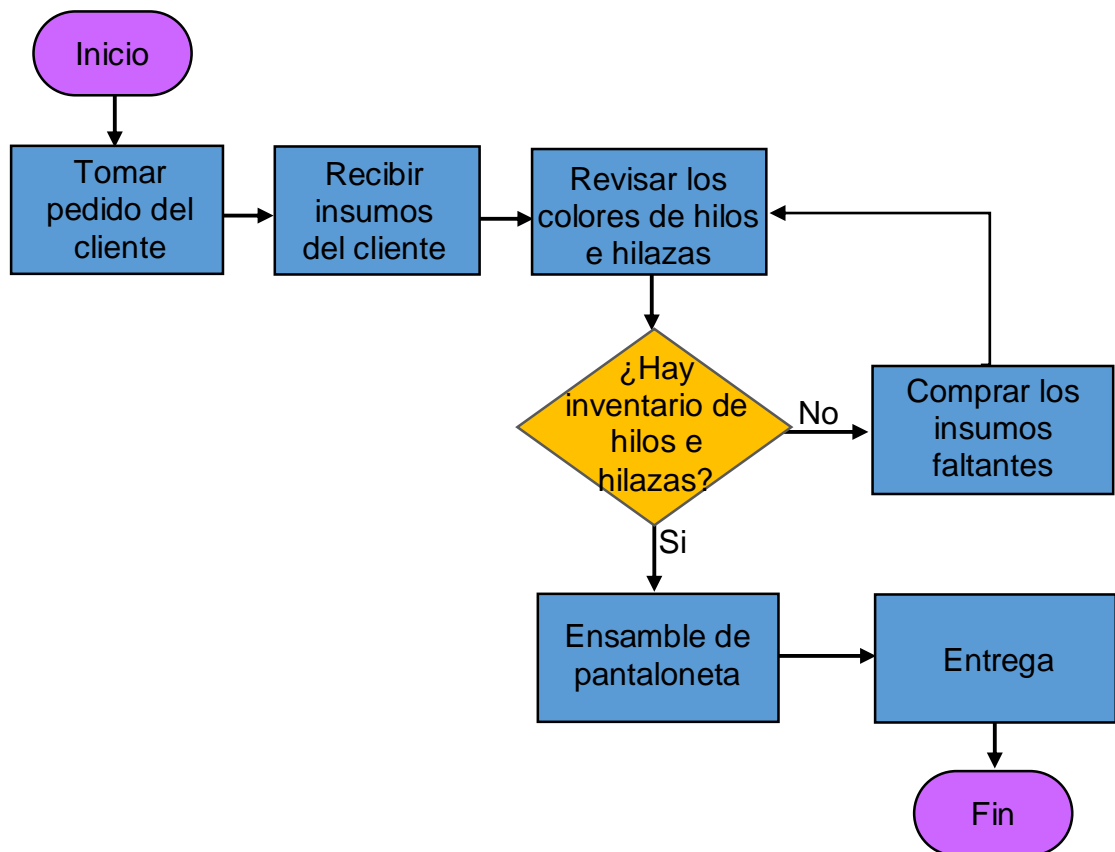
8 DESCRIPCIÓN DEL TALLER TEXTIL

1.10 ESTADO ACTUAL

Según información de la propietaria del taller, la productividad es relativamente baja ya que los métodos son empíricos y normalmente requiere más tiempo del necesario para cumplir la meta propuesta, “por lo regular, cuando se acerca el día de la entrega se requieren de horas extra para cumplir con el tiempo acordado con el cliente”⁵², por otro lado, el taller está produciendo un promedio de 1819 unidades al mes mientras que la competencia cuenta con los mismos recursos y está produciendo alrededor de 2400 unidades al mes.

Teniendo en cuenta lo anterior, es fundamental optimizar los métodos para poder competir en el mercado aumentando el volumen sin sacrificar la calidad que caracteriza el taller.

Ilustración 4. Proceso productivo.



Fuente: Taller textil.

⁵² LÓPEZ VELÁZQUES. Op.cit.

Como se muestra en la ilustración 4, el proceso productivo del taller textil inicia cuando la dueña toma el pedido con las especificaciones y necesidades del cliente y recibe de él mismo los insumos requeridos como tela, resorte, calzoneta, cordones y tiquetes, después realiza los requerimientos de hilos e hilazas al proveedor en caso de que sea necesario en una distribuidora de hilos ubicada en el municipio de Tuluá, una vez se tienen las materias primas necesarias y los insumos para la fabricación de la pantaloneta se da inicio a la producción y de este mismo modo a las actividades necesarias para el cumplimiento de la entrega de las ordenes de los productos al cliente.

Con la información anterior, se puede observar que el problema principal son los métodos utilizados ya que al no conocerse la secuencia óptima de ensamble se deben realizar varios reprocesos como tener que voltear la prenda más de lo necesario como se evidencia en la ilustración 1 haciendo que la programación de la producción se vuelva ineficiente, por lo tanto, es necesario la realización de un estudio de métodos y tiempos para el **ensamble de la pantaloneta** con el fin de realizar el diseño de la programación de la producción óptimo para el taller textil.

1.11 ESTUDIO DE MÉTODOS

Para revisar los métodos que se utilizan actualmente en el taller, se debe filtrar la información con el fin de estudiar las referencias más significativas, por lo tanto, se realiza la clasificación ABC de la producción de los últimos 12 meses y se escoge la categoría A que simboliza el 60% de las unidades fabricadas de este periodo como se puede observar en siguiente tabla.

Tabla 4. Producción en unidades de los últimos 12 meses.

Referencia	Unidades	Participación	Acumulado	Clasificación
Playera	4904	28%	28%	A
Bermuda	2333	13%	42%	A
Duo	1803	10%	52%	A
Boar junior herpo	1487	9%	60%	A
Playera, triangulo 1 lado	1216	7%	67%	B
Playera 1 raya	816	5%	72%	B
Playera 2 rayas	800	5%	77%	B
Bermuda con sesgo combinado	799	5%	81%	B
Playera 2 rayas, 1 lado	797	5%	86%	B
Short dama sesgo contorno	648	4%	90%	C

Fuente: Autores.

Tabla 5. Producción en unidades de los últimos 12 meses (continuación).

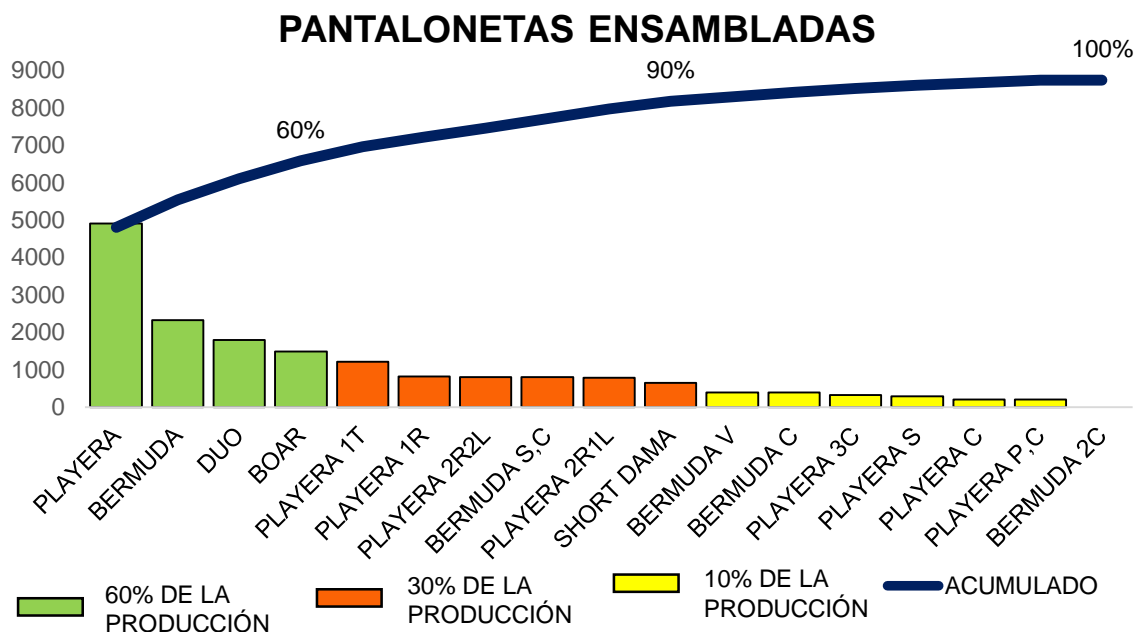
Referencia	Unidades	Participación	Acumulado	Clasificación
Bermuda, vivo	400	2%	92%	C
Bermuda combinada	394	2%	94%	C
Playera 3 combinaciones	320	2%	96%	C
Playera sesgo s	295	2%	98%	C
Playera combinada	200	1%	99%	C
Playera, pretina, combinación	200	1%	100%	C

Fuente: Autores.

Es importante mencionar que la propietaria del taller textil enfatizo en el interés de estas referencias debido se tiene dialogado con el cliente que estas serán las más representativas del próximo año.

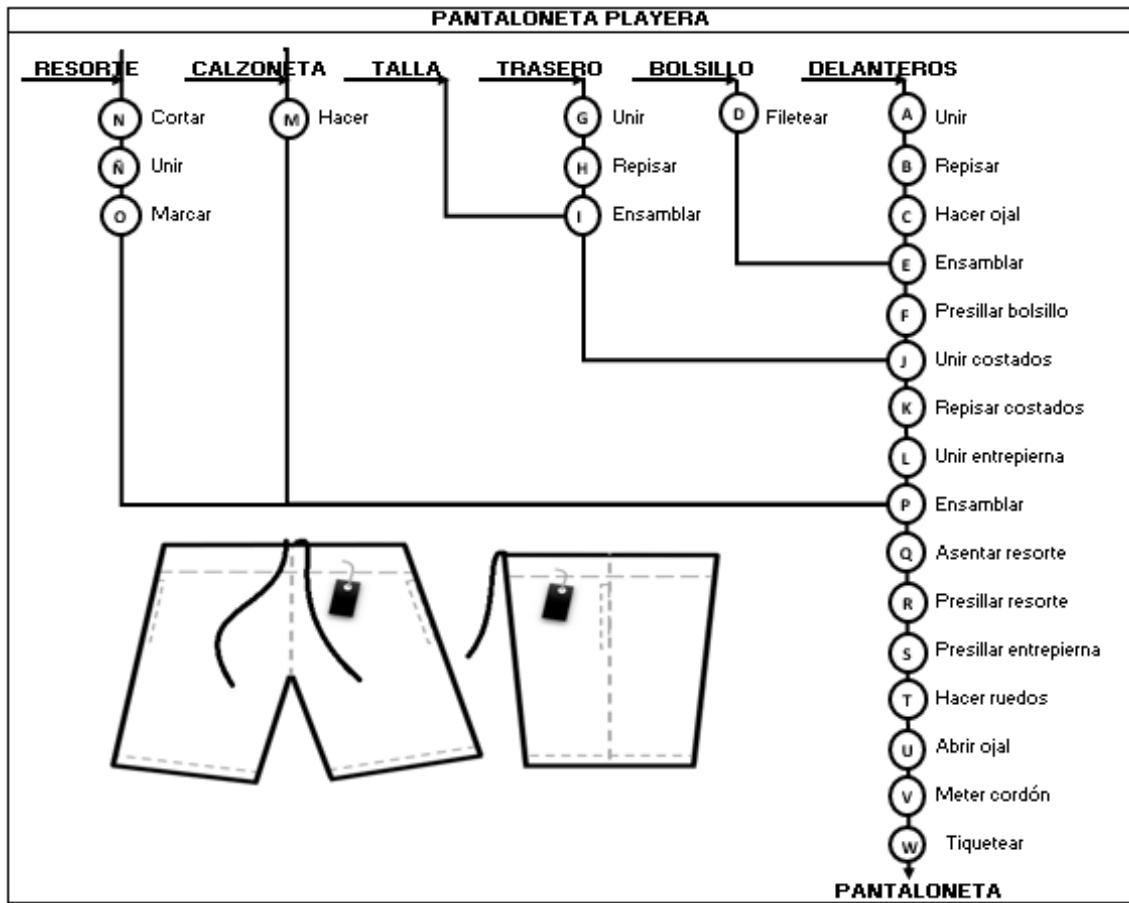
Teniendo las referencias escogidas para el análisis, se realiza la descripción de cada una de las secuencias para el ensamble, donde en el cursograma sinóptico se pueden ver las actividades que agregan valor y en el diagrama de flujo la secuencia que se lleva, dónde (la actividad 1 y 2 que no están descriptas en cursograma sinóptico son recibir mercancía y organizar mercancía en la mesa respectivamente).

Ilustración 5. Pareto de pantalonetas ensambladas.



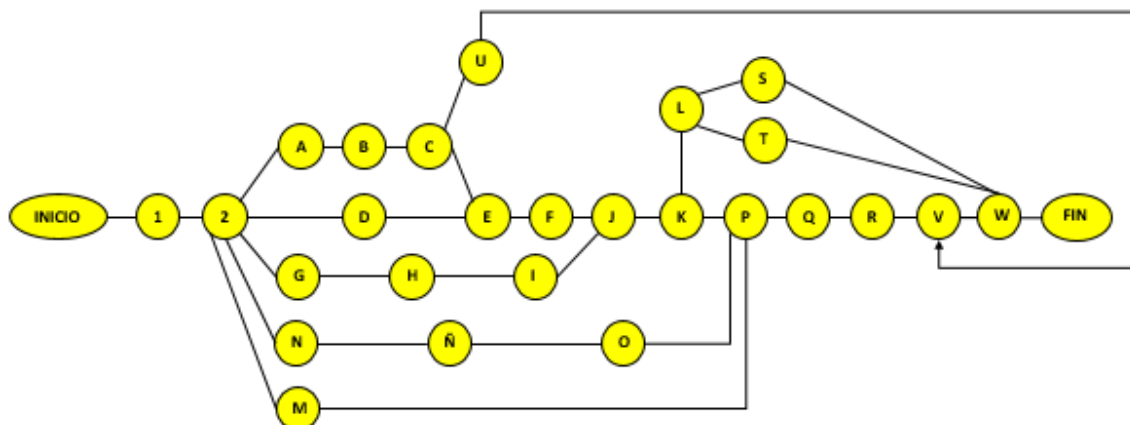
Fuente: Autores.

Ilustración 6. Cursograma analítico de pantaloneta playera.



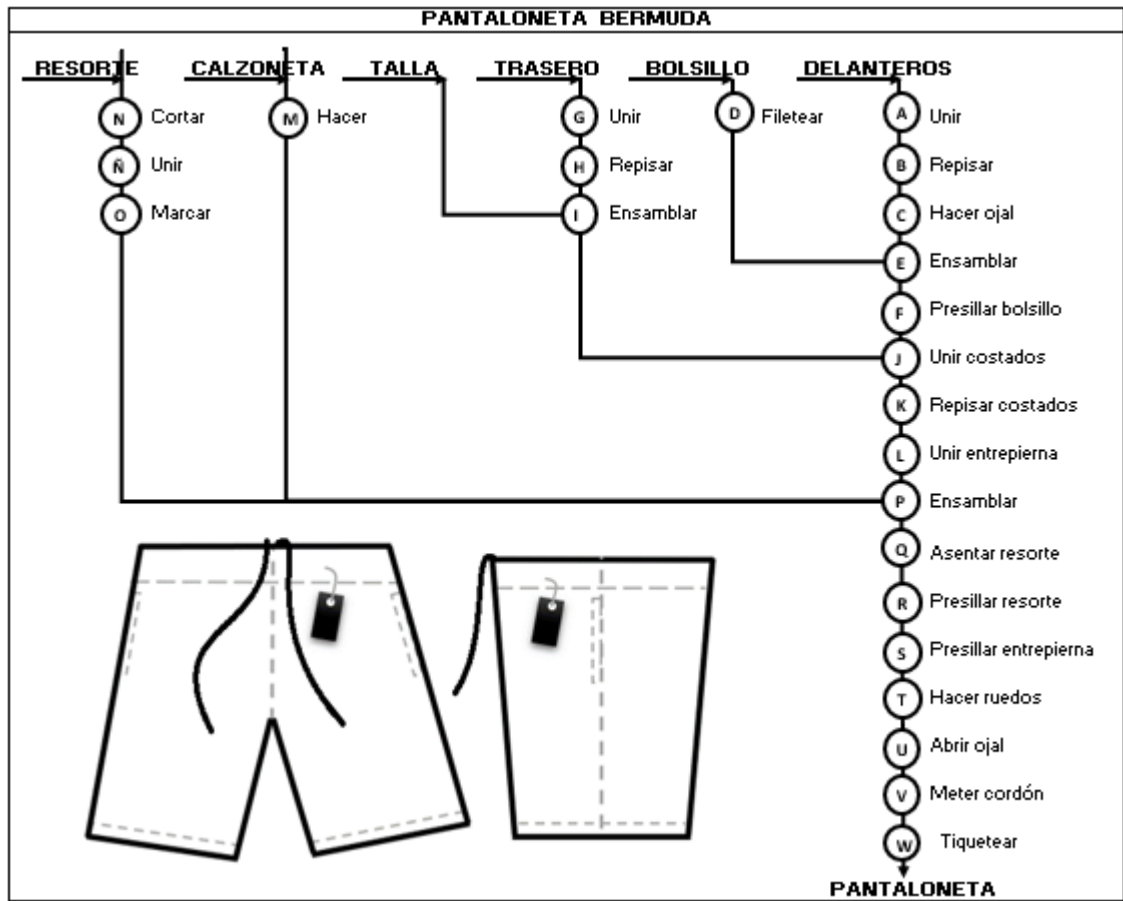
Fuente: Autores.

Ilustración 7. Flujo del proceso playera.



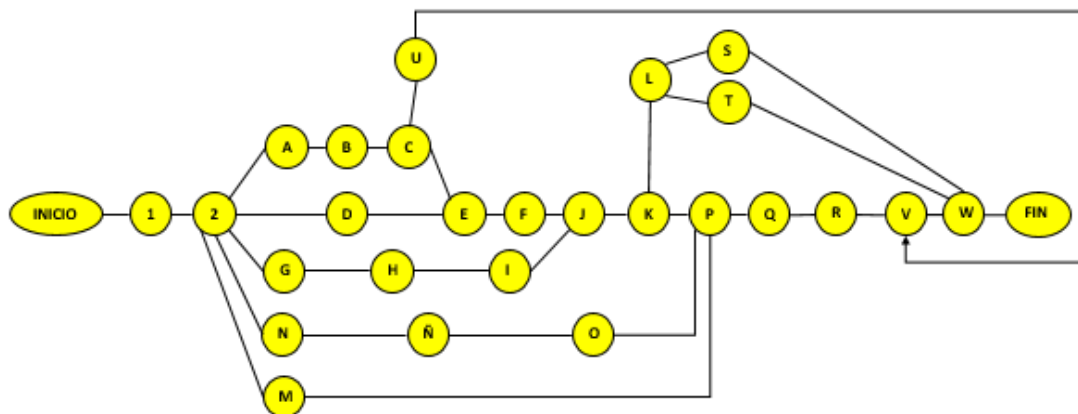
Fuente: Autores.

Ilustración 8. Cursograma analítico de pantaloneta bermuda.



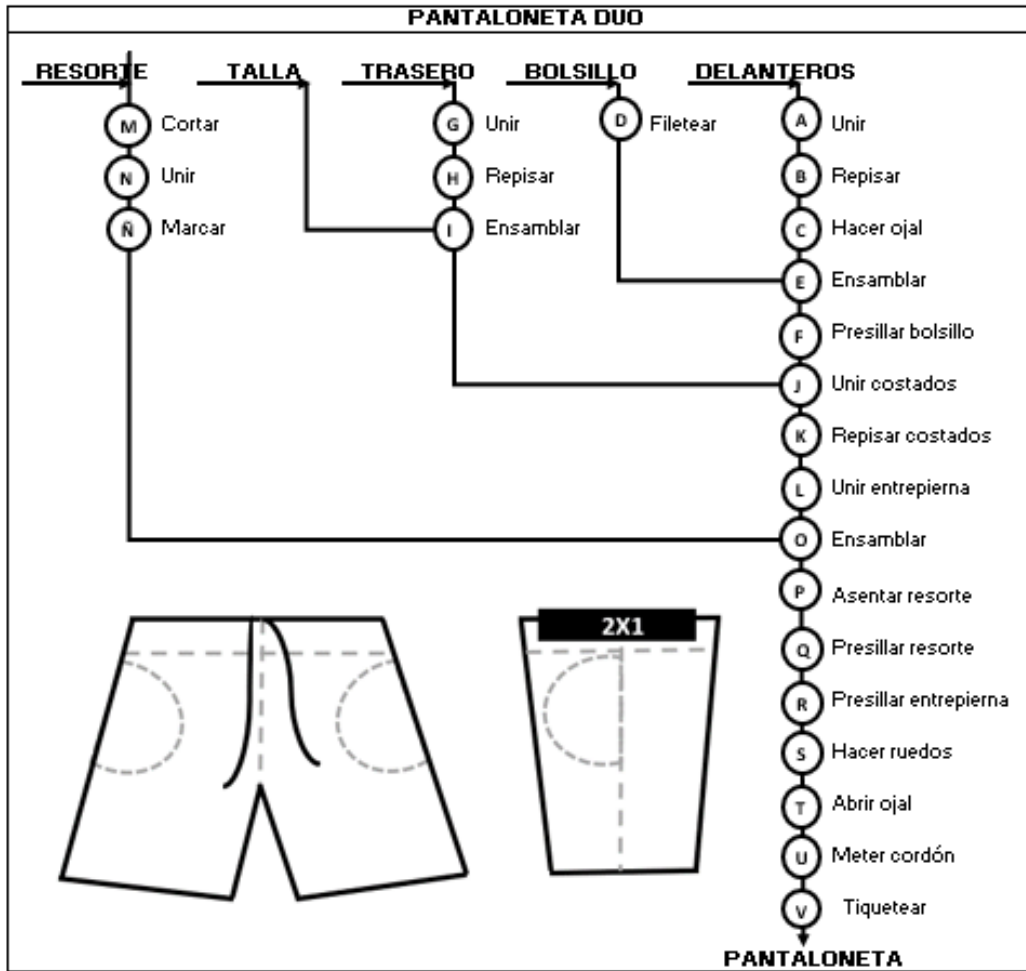
Fuente: Autores.

Ilustración 9. Flujo del proceso bermuda.



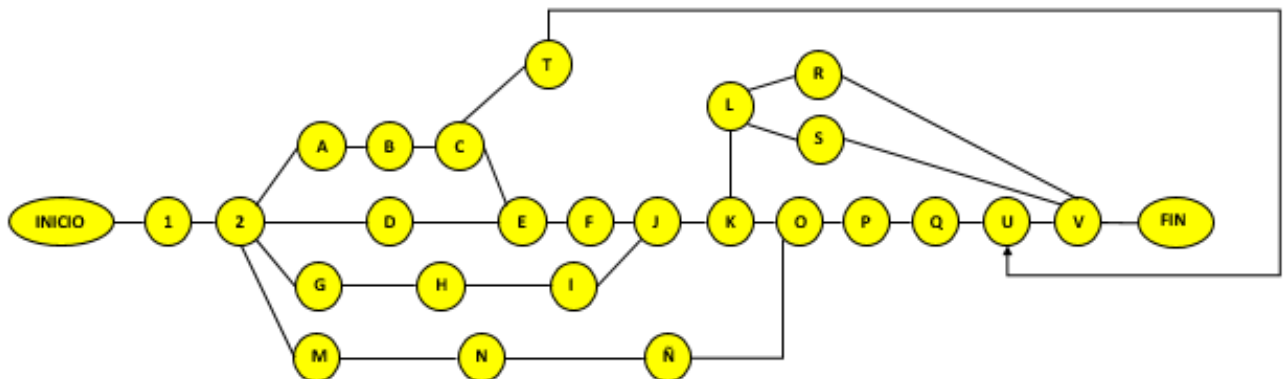
Fuente: Autores.

Ilustración 10. Cursograma analítico de pantaloneta Dúo.



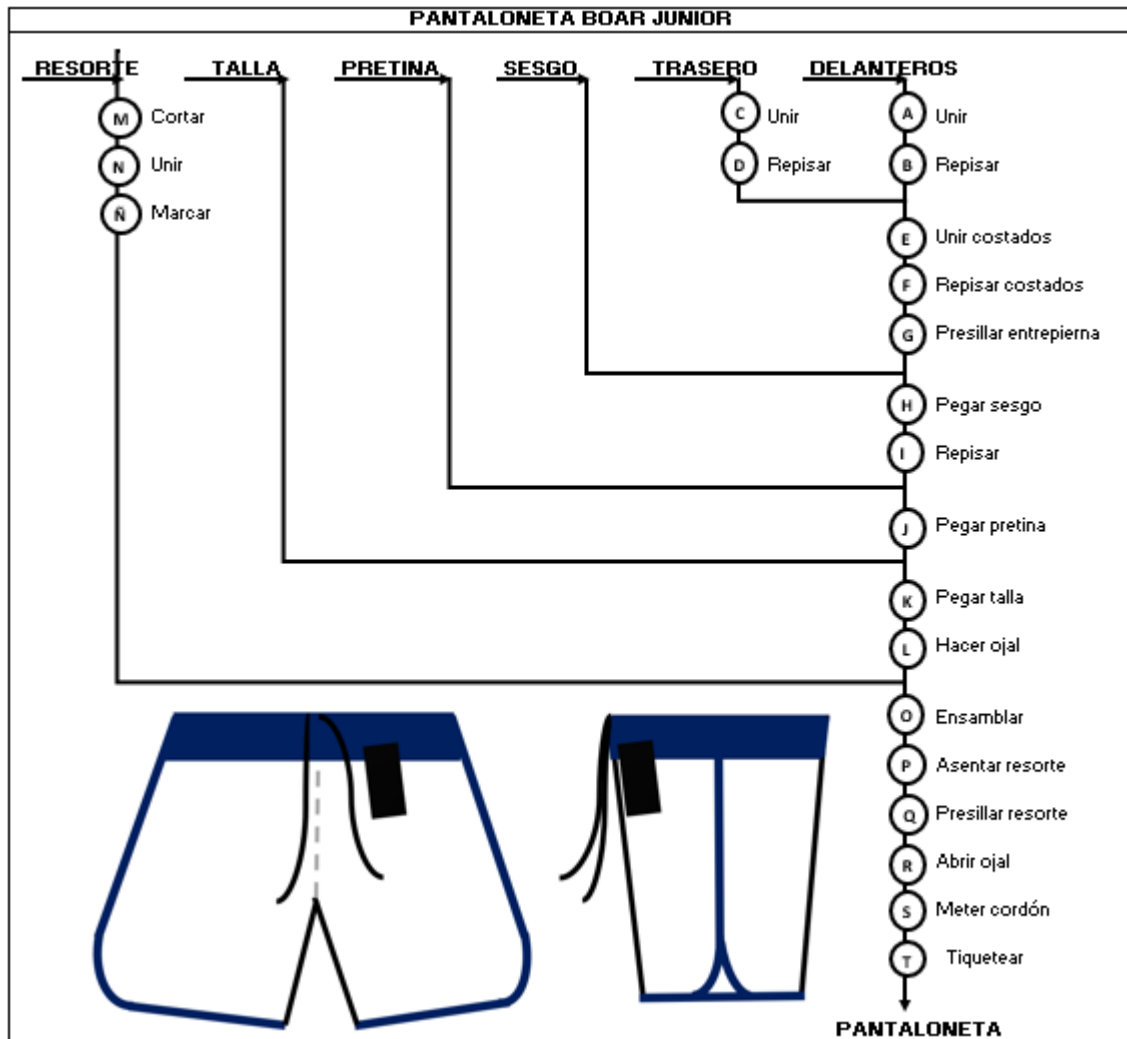
Fuente: Autores.

Ilustración 11. Flujo del proceso Dúo.



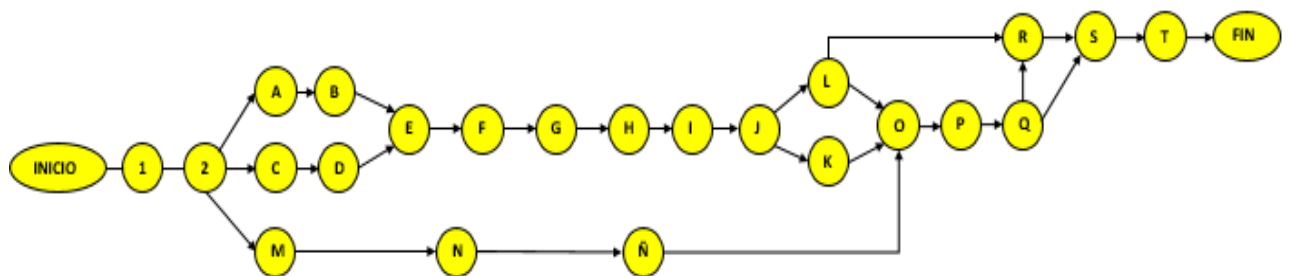
Fuente: Autores.

Ilustración 12. Cursograma analítico de pantaloneta boar junior.



Fuente: Autores.

Ilustración 13. Flujo del proceso boar junior.



Fuente: Autores.

1.12 ESTUDIO DE TIEMPOS

El estudio se realizó bajo observación directa por parte de los autores con una muestra piloto de 20 unidades para cada una de las actividades y con la utilización de la ecuación 1 se determinó el tamaño real de la muestra para realizar la estandarización de los tiempos, de éste modo se identificaron los diferentes tiempos de las actividades que se desarrollan en el taller textil para cada una de las referencias fabricadas.

$$n = \frac{40\sqrt{n' \cdot \sum x^2 - \sum(x)^2}}{\sum x} \quad (8)$$

Donde:

n= Tamaño de muestra

n'= Número de observaciones de la muestra piloto

\sum = Sumatoria de los valores

X= Valor de las observaciones

40= Contante para un nivel de confianza de 94,45%

Tabla 6. Muestra piloto de la actividad unir delanteros.

Unir delanteros (Tiempo en segundos)					
Observación	X	x ²	Observación	X	x ²
1	23,8	567,9	11	25,1	630,0
2	26,8	716,6	12	23,8	566,0
3	25,6	652,8	13	24,6	603,7
4	26,5	700,7	14	25,1	631,5
5	26,0	677,6	15	26,0	676,5
6	24,8	616,0	16	31,3	977,2
7	24,9	620,0	17	24,0	574,6
8	26,4	694,8	18	24,6	605,7
9	25,3	641,6	19	25,6	652,8
10	25,4	644,7	20	23,7	562,2

Fuente: Autores.

$$n = \frac{40\sqrt{20 \cdot 13013 - 509^2}}{509} = 3$$

Según la fórmula, el tamaño de la muestra es 3 unidades, sin embargo, para obtener mejores resultados se decide tomar 10 unidades para sacar el tiempo estándar.

Tabla 7. Tamaño de muestra de la actividad unir delanteros.

Unir delanteros (Tiempo en segundos)	
Observación	X
1	25,8
2	23,9
3	32,5
4	24,8
5	26,0
6	26,5
7	24,9
8	24,5
9	27,2
10	24,9
Promedio	26,1

Fuente: Autores.

De este modo se determinaron los tiempos para cada una de las actividades, además, se tuvieron en cuenta los tiempos suplementarios por descanso teniendo en cuenta las valoraciones de la OIT⁵³, donde los aspectos que no aplican por el tipo de negocio se encuentra de color oro mientras que los aspectos que se deben tener en cuenta se presentan de color verde.

Tabla 8. Suplementos constantes por descanso.

SUPLEMENTOS CONSTANTES		
	Hombre	Mujer
Necesidades personales	5	7
Fatiga	4	4

Fuente: OIT. Introducción al estudio del trabajo⁵⁴.

⁵³ OIT. Introducción al estudio del trabajo, segunda edición. Sistema de suplementos por descanso porcentajes de los tiempos básicos. [En línea]. Disponible en < <https://es.scribd.com/doc/52720908/Tabla-Suplementos-OIT> >

⁵⁴ OIT. Ibit.

Tabla 9. Suplementos variables por descanso.

SUPLEMENTOS VARIABLES					
	Hombre	Mujer		Hombre	Mujer
A. Trabajo de pie	2	4	F. Concentración		
B. Postura anormal			Cierta precisión	0	0
Ligeramente incómodo	0	1	Precioso o fatigoso	2	2
Incomodo (inclinado)	2	3	Gran precisión o muy fatigoso	5	5
Muy incómodo (acostado)	7	7	G. Ruido		
C. Uso de fuerza en Kg (Levantar, empujar o tirar)			Continuo	0	0
2,5	0	1	Intermitente y fuerte	2	2
5	1	2	Intermitente y muy fuerte	5	5
10	3	4	Estridente y fuerte	5	5
25	9	20	H. Tensión mental		
35,5	22	--	Proceso bastante complejo	1	1
D. Mala iluminación			Proceso complejo o atención dividida entre muchos objetos	4	4
Ligeramente por debajo de la potencia calculada	0	0	Muy complejo	8	8
Bastante por debajo	2	2	I. Monotonía		
Absolutamente insuficiente	5	5	Monótono	0	0
E. Condiciones atmosféricas			Bastante monótono	1	1
Indice de enfriamiento de Kata			Muy monótono	4	4
16		0	J. Tedio		
8		10	Trabajo algo aburrido	0	0
4		45	Trabajo bastante aburrido	2	1
2		100			

Fuente: OIT. Introducción al estudio del trabajo⁵⁵.

Teniendo en cuenta que los miembros del taller son mujeres que trabajan sentadas, no deben hacer uso de la fuerza, consideran que se tiene buena iluminación y por

⁵⁵ OIT. I Bit.

el tipo de trabajo se presenta bastante monotonía y precisión en las actividades, se obtiene un total de 17% de tiempos suplementarios incluyendo necesidades personales y fatiga, por lo tanto, el tiempo estándar de las actividades se evidencia en las tablas que se presentarán a continuación que además se utilizarán como datos de entrada del modelo matemático que permitirá obtener la secuencia óptima para la programación de la producción.

Tabla 10. Tiempos estándar de la referencia *playera* para la realización de una unidad de pantaloneta.

Actividad	Tiempo (segundos)	Actividad	Tiempo (segundos)
Unir delanteros	30,5	Hacer calzoneta	45,9
Repisar delanteros	11,1	Cortar resorte	2,3
Hacer ojal	20,8	Unir resortes	12,5
Filetear bolsillo delantero	60,2	Marcar resorte	15,5
Ensamblar bolsillo delantero	128,5	Ensamblar prenda, calzoneta y resorte	72,7
Presillar bolsillo	64,9	Asentar resorte	69,0
Unir traseros	36,0	Presillar remate del resorte	68,6
Repisar traseros	12,1	Presillar entrepierna	14,0
Pegar talla	20,4	Hacer ruedos	88,2
Unir costados	52,3	Abrir ojal	3,7
Repisar costados	53,1	Meter cordón	75,5
Unir entrepierna	41,5	Tiquetear	8,1
Tiempo total sin actividades de alistamiento		1007,4 Segundos	

Fuente: Autores.

Tabla 11. Tiempos estándar de la referencia *bermuda* para la realización de una unidad de pantaloneta.

Actividad	Tiempo (segundos)	Actividad	Tiempo (segundos)
Unir delanteros	30,5	Hacer calzoneta	45,9
Repisar delanteros	11,1	Cortar resorte	2,3
Hacer ojal	20,8	Unir resortes	12,5

Fuente: Autores.

Tabla 12. Tiempos estándar de la referencia *bermuda* para la realización de una unidad de pantaloneta (continuación).

Actividad	Tiempo (segundos)	Actividad	Tiempo (segundos)
Filetear bolsillo delantero	60,2	Marcar resorte	15,5
Ensamblar bolsillo delantero	128,5	Ensamblar prenda, calzoneta y resorte	72,7
Presillar bolsillo	64,9	Asentar resorte	69,0
Unir traseros	36,0	Presillar remate del resorte	68,6
Repisar traseros	12,1	Presillar entrepierna	14,0
Pegar talla	20,4	Hacer ruedos	88,2
Unir costados	53,8	Abrir ojal	3,7
Repisar costados	57,9	Meter cordón	75,5
Unir entrepierna	44,5	Tiquetear	8,1
Tiempo total sin actividades de alistamiento		1016,7 Segundos	

Fuente: Autores.

Tabla 13. Tiempos estándar de la referencia *dúo* para la realización de una unidad de pantaloneta.

Actividad	Tiempo (segundos)	Actividad	Tiempo (segundos)
Unir delanteros	31	Cortar resorte	2
Repisar delanteros	11	Unir resortes	12
Hacer ojal	21	Marcar resorte	15
Filetear bolsillo delantero	60	Ensamblar prenda y resorte	73
Ensamblar bolsillo delantero	128		
Presillar bolsillo	65	Asentar resorte	69
Unir traseros	36	Presillar remate del resorte	69
Repisar traseros	12	Presillar entrepierna	14
Pegar talla	20	Hacer ruedos	88
Unir costados	54	Abrir ojal	4
Repisar costados	58	Meter cordón	76
Unir entrepierna	44	Tiquetear (Duo)	15
Tiempo total sin actividades de alistamiento		977,8 Segundos	

Fuente: Autores.

Tabla 14. Tiempos estándar de la referencia Boar junior para la realización de una unidad de pantaloneta.

Actividad	Tiempo (segundos)	Actividad	Tiempo (segundos)
Unir delanteros	31	Hacer ojal	21
Repisar delanteros	11	Cortar resorte	2
Unir traseros	36	Unir resortes	12
Repisar traseros	12	Marcar resorte	15
Unir costados	52	Ensamblar prenda y resorte	73
Unir entrepierna	41		
Presillar entrepierna	14	Asentar resorte	69
Pegar sesgo borde	146	Presillar remate del resorte	69
Repisar sesgo	92	Abrir ojal	4
Pegar pretina	159	Meter cordón	76
Pegar talla	20	Tiquetear	8
Tiempo total sin actividades de alistamiento		964,0 Segundos	

Fuente: Autores.

Del mismo modo, se deben tener en cuenta las actividades de preparación o alistamiento para poder realizar las operaciones de ensamble, éstas son necesarias cada que se debe realizar un cambio de color en los hilos e hilazas de las máquinas,

Tabla 15. Tiempos estándar para las actividades de preparación.

Actividad	Tiempo (segundos)
Cambio de hilos fileteadora	32,00
Cambio de hilos enresortadora	65,81
Cambio de hilos plana y 20U	16,61
Voltear prenda	18,21
Organizar mercancía	1181,29
Buscar hilos enresortadora	24,25
Buscar hilos fileteadora	22,44
Buscar hilos plana	19,66

Fuente: Autores.

Sin embargo, para efectos de la realización de VSM del que se hablará más adelante, se tuvo en cuenta información suministrada por Sady, la propietaria del

taller, la cual decía que los cambios de hilos e hilazas se realizan cada 40 unidades aproximadamente con la cual se obtiene la tabla presentada continuación.

Tabla 16. Tiempos estándar para actividades de preparación por unidad.

Actividad	Tiempo más suplemento
Cambio de hilos fileteadora	0,9
Cambio de hilos enresortadora	1,9
Cambio de hilos plana y 20U	0,5
Voltear prenda	21,3
Organizar mercancía	11,8
Buscar hilos enresortadora	0,7
Buscar hilos fileteadora	0,7
Buscar hilos plana	0,6

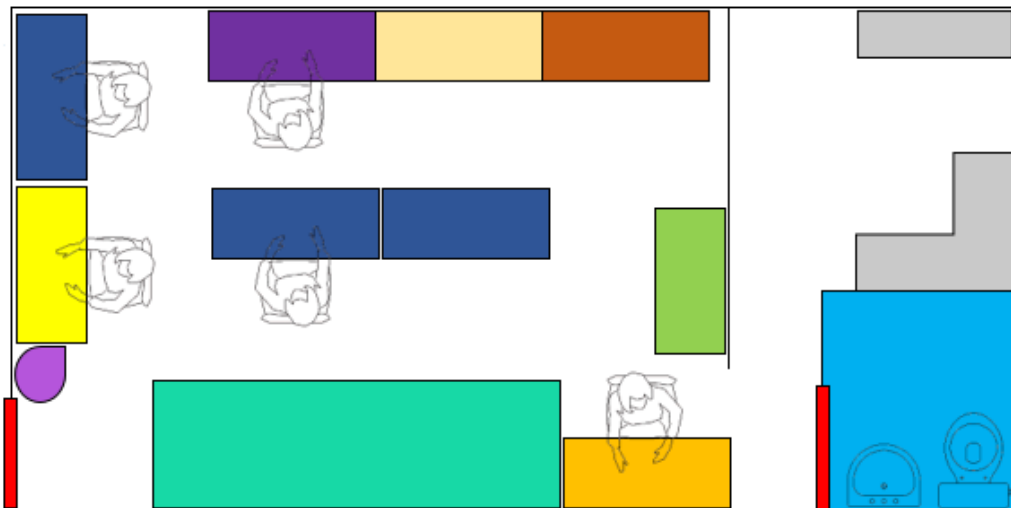
Fuente: Autores.

1.13 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN

En el área de producción es donde se toma la decisión sobre el método y la secuenciación que se utilizará para el ensamble de cada una de las piezas de la pantaloneta teniendo en cuenta la disponibilidad del personal y las máquinas.

En taller cuenta con un espacio de 21 metros cuadrados, en el cual se encuentran ubicadas 9 máquinas de coser, una mesa de madera comprimida, un baño y estanterías para el almacenamiento de hilos e hilazas como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 14. Distribución de planta.



Fuente: Autores.

Tabla 17. Área y función.

Representación	Área o máquina	Función
	Maquina plana	Pegar bolsillo, repisar, unir resorte.
	Máquina fileteadora 4 hilos	Hacer bolsillo, unir delanteros y traseros.
	Máquina fileteadora 3 hilos	Enresortar, hacer calzoneta.
	Máquina 20 u	Hacer presilla y ojal.
	Máquina collarín	Pegar sesgo.
	Máquina fileteadora 5 hilos	Unir delanteros, traseros, laterales y entrepierna, envivar
	Máquina enresortadora	Asentar resorte, pegar sesgos.
	Mesa	Cortar resorte, organizar el trabajo.
	Baño	
	Estanterías	Almacenamiento de hilos e hilazas
	Puertas	Entradas y salidas

Fuente: Taller textil.

Para tener una mayor claridad de sistema productivo del taller textil, se debe tener en cuenta que éste maneja un sistema de producción justo a tiempo o *make-to-order* ya que no manejan inventario de producto terminado y produce las unidades que se requieren en el momento.

Es importante aclarar que el pedido es recibido por la propietaria del taller la cual debe acordar con el cliente las características y fecha de entrega del producto final, además, el mismo día se reciben los insumos que tienen que ver con tela, sesgos, calzoneta, resorte, talla y etiquetas por parte del cliente mientras que los insumos para el ensamble como el hilo y la hilaza deben ser suministrados por la propietaria del taller la cual tiene convenio con una distribuidora local.

Después de tener definidas las características del producto y contando con la disponibilidad de todos los insumos, se procede a iniciar el proceso de elaboración de las pantalonetas, sin embargo, actualmente no se conoce la secuencia optima de producción.

1.14 INDICADORES.

1.14.1 Indicador de productividad (IP):

Para obtener éste indicador, se le solicitó la información a la propietaria del taller la cual entregó los gastos fijos y variables, además de los ingresos por la venta de la

maquila que se encuentran en la tabla 18 y con la utilización de la ecuación 2 se obtiene el índice de eficiencia.

$$IP = \frac{\text{Ingreso por venta}}{\text{Gastos fijos} + \text{gastos variables}} \quad (9)$$

- Si el $IP=1$ el taller no es productivo ya que no está generando pérdidas ni ganancias.
- Si el $IP>1$ el taller es productivo ya que está generando ganancias, mientras mayor sea el índice será mejor para el taller.
- Si $IP<1$ el taller está siendo improductivo ya que sólo estaría generando pérdidas.

Tabla 18. Índice de productividad 2018.

Mes	Gastos fijos	Gastos variables	Ingresos por venta	Índice de productividad
Enero	\$ 232.000	\$ 2.521.463	\$ 3.539.150	1,29
Febrero	\$ 232.000	\$ 2.127.907	\$ 3.250.000	1,38
Marzo	\$ 232.000	\$ 2.479.806	\$ 3.229.266	1,19
Abril	\$ 232.000	\$ 1.217.815	\$ 1.992.072	1,37
Mayo	\$ 232.000	\$ 2.509.944	\$ 2.993.472	1,09
Junio	\$ 232.000	\$ 1.664.028	\$ 1.915.874	1,01
Julio	\$ 232.000	\$ 2.231.907	\$ 3.065.900	1,24
Agosto	\$ 232.000	\$ 1.539.991	\$ 2.460.476	1,39
Septiembre	\$ 232.000	\$ 1.725.167	\$ 2.052.800	1,05
Octubre	\$ 232.000	\$ 2.220.889	\$ 2.920.008	1,19

Fuente: Taller textil.

Se puede observar que el taller a pesar de presentar ganancias, estas son relativamente bajas poniendo el riesgo el cierre por la improductividad del mismo.

1.14.2 Indicador de eficiencia(IE):

Este indicador se enfoca a la utilización de las máquinas y tiempo ocioso generado en el proceso de confección de las piezas, se expresa como la relación entre el tiempo en el que la maquinaria está en uso y el tiempo total disponible.

Se debe tener en cuenta que actualmente no se presenta tiempo ocioso en el taller, por el contrario, según información de la propietaria, normalmente el día anterior a la entrega se requieren horas extra para cumplir con la fecha del cliente. Por lo tanto, para demostrar la eficiencia actual del taller, se realiza este indicador con el tiempo disponible y el tiempo que se hubiera utilizado teniendo en cuenta el tiempo estándar de las actividades.

$$\text{Tiempo de utilización (\%)} = \frac{\text{Tiempo en uso}}{\text{Tiempo total disponible}} * 100\% \quad (10)$$

$$\text{Tiempo ocioso (\%)} = 1 - \%TU \quad (11)$$

Tabla 19. Indicadores de eficiencia para realizar 470 unidades de cada referencia.

Indicadores de eficiencia (con tiempos de preparación)				
Operación	Duración de operación (segundos)	Tiempo disponible (segundos)	Porcentaje de utilización	Porcentaje ocioso
Cuadre de mercancía para cualquier referencia	1181	1800	66%	34%
Pantaloneta playera	490936	790200	62%	38%
Pantaloneta bermuda	453318	790200	57%	43%
Pantaloneta DUO	477513	790200	60%	40%
Pantaloneta Boar	453318	790200	57%	43%

Fuente: Autores.

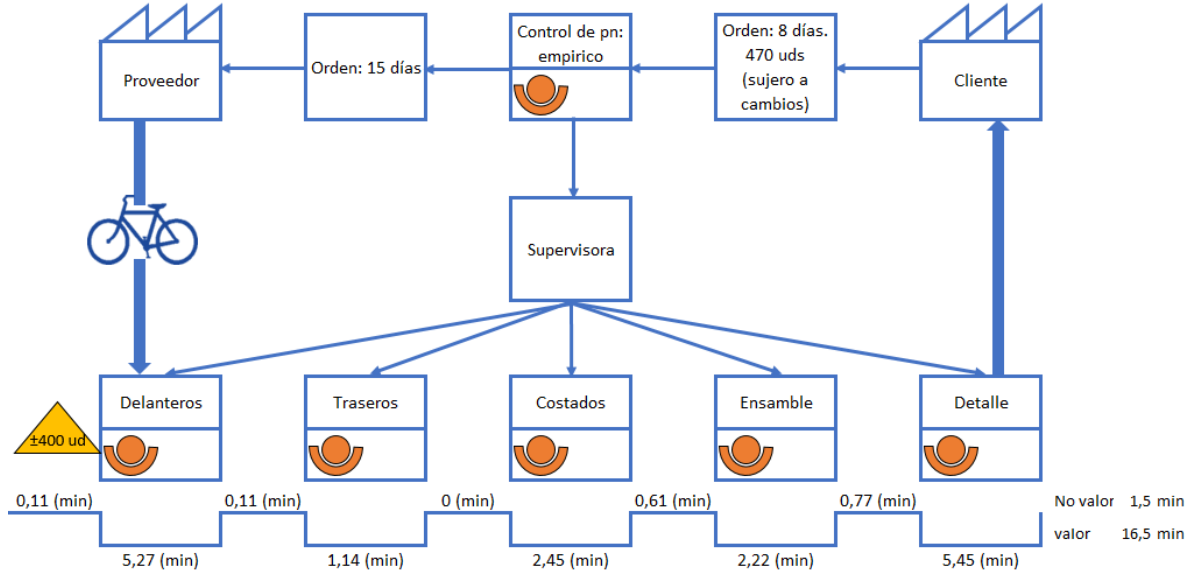
En la tabla 19 se evidencia que si se cumplieran los tiempos estándares podrían aumentar el nivel de producción ya que en promedio presentan un tiempo ocioso del 41%.

1.15 VSM Actual

Teniendo en cuenta que existe una herramienta que permite la identificación de actividades que no agregan valor en el proceso productivo para posterior a esto la eliminación de las mencionadas, se procede a realizar el respectivo diagrama VSM para el taller textil.

Actualmente se evidencia que las actividades que no agregan valor equivale en promedio al 7% en las cuatro referencias que se están analizando, estas actividades se deben al alistamiento de hilos, cuadro de máquina, marcar resorte y voltear la prenda.

Figura 3. VSM inicial de la referencia *Playera*.



Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta el diagrama anterior se pueden evidenciar las actividades necesarias para realizar la producción en las instalaciones del taller textil, donde las actividades para la elaboración de una unidad suman en total 18 minutos donde 16,5 minutos son de actividades que agregan valor y 1,5 minutos de actividades que no agregan valor.

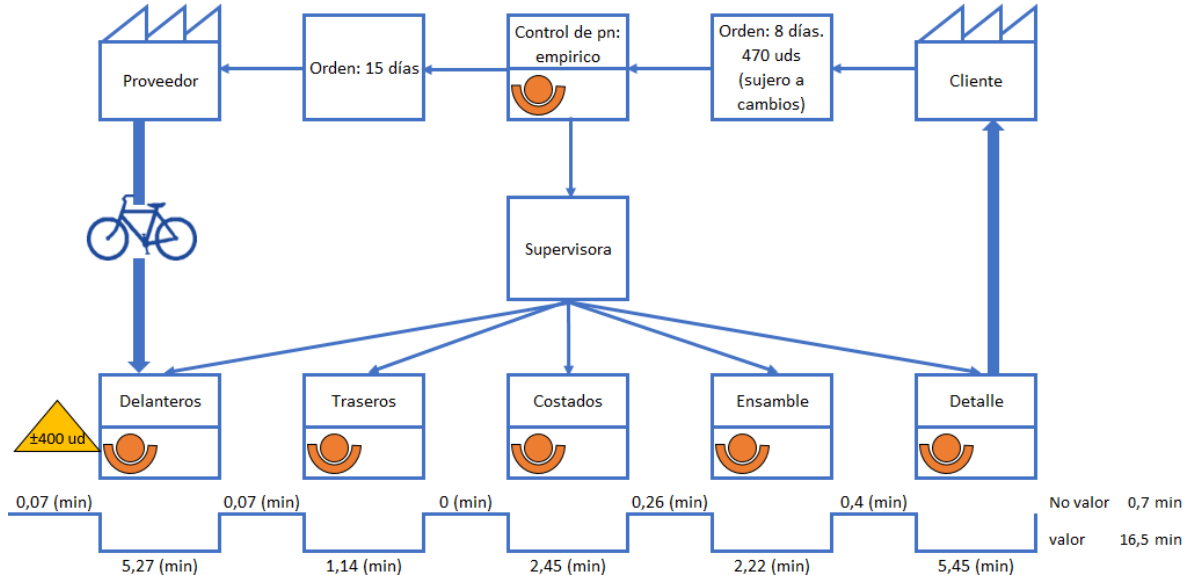
1.16 VSM PROPUESTO

Para reducir las actividades que no generan valor para el ensamble de las pantalonetas se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Alistar todos los hilos e hilazas que se necesiten para el ensamble de la pantaloneta con el fin de evitar las idas a las estanterías a buscar estos insumos.
- Realizar los ruedos al final del ensamble para evitar voltear la pantaloneta más veces de lo necesario.

La figura 4 representan los tiempos con la mejora propuesta para reducir las actividades que no están generando valor para el producto final.

Figura 4. VSM propuesto de la referencia *Playera*.



Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se tiene que las actividades para la elaboración de una unidad suman en total 17,2 minutos donde 16,5 minutos son de actividades que agregan valor y 0,7 minutos de actividades que no agregan valor, donde comparado con el VSM actual se presenta un ahorro de 46,3 segundos del tiempo total de ensamble.

Tabla 20. Propuesta de reducción para las actividades que no generan valor en la referencia *Playera*.

Actividad	valor	No valor actual	No valor propuesto
Delanteros	316,0	6,4	4,0
Traseros	68,5	0,0	0,0
Costados	146,8	0,0	0,0
Ensamble	133,4	36,8	15,5
Detalle	327,1	46,3	23,7
TOTAL	991,9	89,4	43,2

Fuente: Autores.

En la referencia *playera*, *bermuda* y *dúo* se puede observar una reducción del 51,7% de las actividades que no generan valor agregado en la pantaloneta, mientras que en la referencia *boar junior* se reduce el 13,9%.

Tabla 21. Propuesta de reducción para las actividades que no generan valor en la referencia *Bermuda*.

Actividad	valor	No valor actual	No valor propuesto
Delanteros	316,0	6,4	4,0
Traseros	68,5	0,0	0,0
Costados	156,1	0,0	0,0
Ensamble	133,4	36,8	15,5
Detalle	327,1	46,3	23,7
TOTAL	1001,2	89,4	43,2

Fuente: Autores.

Tabla 22. Propuesta de reducción para las actividades que no generan valor en la referencia *Dúo*.

Actividad	valor	No valor actual	No valor propuesto
Delanteros	316,0	6,4	4,0
Traseros	68,5	0,0	0,0
Costados	156,1	0,0	0,0
Ensamble	87,5	36,8	15,5
Detalle	334,2	46,3	23,7
TOTAL	962,4	89,4	43,2

Fuente: Autores.

Tabla 23. Propuesta de reducción para las actividades que no generan valor en la referencia *Boar junior*.

Actividad	valor	No valor actual	No valor propuesto
Delanteros	41,6	2,7	2,7
Traseros	48,1	1,1	0,5
Costados	346,3	4,8	2,4
Ensamble	372,1	26,1	24,2
Detalle	155,9	0,0	0,0
TOTAL	964,0	34,5	29,7

Fuente: Autores.

9 DATOS DE ENTRADA AL MODELO

En este capítulo se determina y se explican los parámetros y variables de entrada al modelo teniendo en cuenta el análisis de la información del capítulo anterior, identificando y definiendo las variables y parámetros involucrados en la producción del taller textil, los cuales son necesarios para formular el modelo matemático de optimización.

La modelación se realizará con las 4 referencias escogidas anteriormente las cuales son (Playera, Bermuda, Duo y Boar), escogidas por el interés de la propietaria del taller, por su participación en ventas del 2018 y por su continuidad para el año 2019, se aclara que el modelo será corrido con estas 4 referencias, con el objetivo de determinar cuál es la secuencia optima y las máquinas que debe utilizar por unidad de tiempo, a su vez poder obtener un mínimo tiempo de elaboración.

Cabe aclarar que el modelo es adaptable para todos los productos que elabora el taller textil, los cuales se seguirán llamando por sus propios nombres (Playera, Bermuda, Duo y Boar) este permite determinar cada uno de los productos la forma como debe ser secuenciadas las operaciones dentro del área de producción y los recursos que deben ser asignados para cada uno, de esta forma realizar los productos con el mínimo tiempo de elaboración posible.

1.17 PARÁMETROS DE PLAYERA

En este apartado se definen y determinan los parámetros que afectan la producción de una pantaloneta tipo Playera, los cuales se introducen en el modelo matemático de optimización

Secuencia de operaciones: Consiste en determinar las precedencias operacionales de cada subproducto dentro del taller textil, es decir, en qué orden de operaciones debe ser procesado cada uno de los componentes de la pantaloneta tipo playera y bermuda como se puede observar en la siguiente tabla

Tabla 24. Secuencia de actividades playera.

Secuencia de actividades						
Subproducto	Operación					
Bolsillo	Filetear	ensamblar				
Delanteros	Unir	Repisar	Ojal	Presillar	Ensamblar	
Traseros	Unir	Repisar	talla	ensamblar		

Fuente: Autores.

Tabla 25 Secuencia de actividades playera (continuación).

Secuencia de actividades						
Subproducto	Operación					
Calzoneta	Unir	ensamblar				
Resorte	cortar	Unir	marcar	ensamblar	asentar	Presillar
Ensamble	abrir ojal	Cordonar	Tiquetear			

Fuente: Autores.

Tiempo de procesamiento: Es la duración que tiene el subproducto en cada una de las actividades, las unidades utilizadas son en segundos, se muestran las unidades que requiere cada subproducto en las operaciones, los subproductos están ordenados por columnas y las operaciones por filas como se puede evidenciar en la tabla 24.

Tabla 26. Tiempo de procesamiento playera.

Tiempo de procesamiento (segundos)	
Operación	Playera
Filetear	60,2
cortar	2,3
Unir	177,2
marcar	15,5
Repisar	76,3
ensamblar	201,2
talla	20,4
entrepierna	41,5
Ojal	20,8
abrir ojal	3,7
asentar	69
Presillar	147,5
Ruedos	88,2
Cordonar	75,5
Tiquetear	8,1

Fuente: Autores

1.18 PARÁMETROS DE BERMUDA

En este apartado se definen y determinan los parámetros que afectan la producción de una pantaloneta tipo Bermuda, los cuales se introducen en el modelo matemático de optimización

Secuencia de operaciones: Consiste en determinar las precedencias operacionales de cada subproducto dentro del taller textil, es decir, en qué orden de operaciones debe ser procesado cada uno de los componentes de la pantaloneta tipo Bermuda.

Tabla 27. Secuencia de actividades Bermuda.

Secuencia de actividades						
Subproducto	Operación					
Bolsillo	Filetear	ensamblar				
Delanteros	Unir	Repisar	Ojal	Presillar	Ensamblar	
Traseros	Unir	Repisar	Talla	ensamblar		
Costados	Unir	Repisar	Entrepierna	Presillar	Ruedos	Ensamblar
Calzoneta	Unir	ensamblar				
Resorte	Cortar	Unir	Marcar	ensamblar	Asentar	Presillar
Ensamble	abrir ojal	Cordonar	Tiquetear			

Fuente: autores.

Tiempo de procesamiento: Es la duración que tiene el subproducto en cada una de las actividades, las unidades utilizadas son en segundos, se muestran las unidades que requiere cada subproducto en las operaciones, los subproductos están ordenados por columnas y las operaciones por filas.

Tabla 28. Tiempo de procesamiento Bermuda.

Tiempo de procesamiento (segundos)	
Operación	Bermuda
Filetear	60,2
cortar	2,3
Unir	178,7
marcar	15,5
Repisar	81,1
ensamblar	201,2
talla	20,4

Fuente: Autores.

Tabla 29. Tiempo de procesamiento Bermuda continuación.

Tiempo de procesamiento (segundos)	
Operación	Bermuda
entrepierna	44,5
Ojal	20,8
abrir ojal	3,7
asentar	69
Presillar	147,5
Ruedos	88,2
Cordonar	75,5
Tiquetear	8,1

Fuente: Autores.

1.19 PARÁMETROS DE DÚO

En este apartado se definen y determinan los parámetros que afectan la producción de una pantaloneta tipo Dúo, los cuales se introducen en el modelo matemático de optimización.

Secuencia de operaciones: Consiste en determinar las precedencias operacionales de cada subproducto dentro del taller textil, es decir, en qué orden de operaciones debe ser procesado cada uno de los componentes de la pantaloneta tipo Dúo.

Tabla 30. Secuencia de actividades Dúo.

Secuencia de actividades						
Subproducto	Operación					
Bolsillo	Filetear	ensamblar				
Delanteros	Unir	Repisar	Ojal	Presillar	Ensamblar	
Traseros	Unir	Repisar	Talla	ensamblar		
Costados	Unir	Repisar	Entrepierna	Presillar	Ruedos	Ensamblar
Resorte	cortar	Unir	Marcar	ensamblar	asentar	Presillar
Ensamble	abrir ojal	Cordonar	Tiquetear			

Fuente: autores.

Tiempo de procesamiento: Es la duración que tiene el subproducto en cada una de las actividades, las unidades utilizadas son en segundos, se muestran las unidades que requiere cada subproducto en las operaciones, los subproductos están ordenados por columnas y las operaciones por filas.

Tabla 31. Tiempos de procesamiento Dúo.

Tiempo de procesamiento (segundos)	
Operación	Dúo
Filetear	60,2
cortar	2,3
Unir	132,8
marcar	15,5
Repisar	81,1
ensamblar	201,2
talla	20,4
entrepierna	44,5
Ojal	20,8
abrir ojal	3,7
asentar	69
Presillar	147,5
Ruedos	88,2
Cordonar	75,5
Tiquetear	15

Fuente: Autores.

1.20 PARÁMETROS DE BOAR

En este apartado se definen y determinan los parámetros que afectan la producción de una pantaloneta tipo Boar, los cuales se introducen en el modelo matemático de optimización.

Secuencia de operaciones: Consiste en determinar las precedencias operacionales de cada subproducto dentro del taller textil, es decir, en qué orden de operaciones debe ser procesado cada uno de los componentes de la pantaloneta tipo Boar.

Tabla 32. Secuencia de actividades Boar.

Secuencia de actividades						
Subproducto	Operación					
Delantero	Unir	Repisar	Ensamblar			
Trasero	Unir	Repisar	Ensamblar			
Costados	Unir	Entrepieñar	Presillar	Sesgar	Repisar	Ensamblar
Pretina	Unir	Talla	Ojal	Ensamblar		

Fuente: Autores.

Tabla 33. Secuencia de actividades Boar continuación.

Secuencia de actividades						
Subproducto	Operación					
Resorte	Cortar	Unir	Marcar	Ensamblar	Asentar	Presillar
Ensamble	Abrir ojal	Cordonar	Tiquetear			

Fuente: Autores.

Tiempo de procesamiento: Es la duración que tiene el subproducto en cada una de las actividades, las unidades utilizadas son en segundos, se muestran las unidades que requiere cada subproducto en las operaciones, los subproductos están ordenados por columnas y las operaciones por filas.

Tabla 34. Tiempo de procesamiento Boar.

Tiempo de procesamiento (seg)	
Operación	Boar
cortar	2
Unir	290
marcar	15
entrepierna	81,1
presillar	201,2
Asentar	20,4
Repisar	44,5
Abrir ojal	20,8
Talla	3,7
Ojal	69
Cordonar	147,5
Ensamblar	88,2
Asentar	75,5
Tiquetear	15

Fuente: Autores.

Diagrama de Gantt: se utiliza esta herramienta para representar la forma actual en que el área de producción realiza la secuenciación de operaciones para la elaboración de las pantalonetas, en las siguientes ilustraciones se puede evidenciar cómo se encuentran configuradas las operaciones para cada uno de los productos, se debe tener en cuenta que el color azul representa la referencia **Playera**, el verde la **Bermuda**, el color oro la **Dúo** y el gris la **Boar**.

Ilustración 15. Gantt método actual semana 1 de producción.

Estación	Semana 1					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Mesa				v	w	
Plana 1	N	E			E	
Plana 2			K	T		K
Plana 3		HI			HI	
20 U	C	F	R	S	C	F
Fileteadora 3 hilos	M		P		M	P
Fileteadora 4 hilos		D			D	
Fileteadora 5 hilos	AG		J	L	AG	J
Enresortadora			Q			

Fuente: Autores.

Ilustración 16. Gantt método actual semana 2 de producción.

Estación	Semana 2					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Mesa		v	w		U	N
Plana 1			E			H
Plana 2		T		K	S	B
Plana 3			HI			N
20 U	R	S		F	Q	R
Fileteadora 3 hilos	P			O		
Fileteadora 4 hilos		D				E
Fileteadora 5 hilos		AG		J	L	AC
Enresortadora	Q			P		

Fuente: Autores.

Ilustración 17. Gantt método actual semana 7 de producción.

Estación	Semana 3		
	Lunes	Martes	Miércoles
Mesa			S
Plana 1	H		
Plana 2	I		
Plana 3		J	K
20 U		L	Q
Fileteadora 3 hilos		O	
Fileteadora 4 hilos			
Fileteadora 5 hilos			
Enresortadora		P	

Fuente: Autores.

Tiempo de producción (TP): Especifica el tiempo necesario para la elaboración de todos los trabajos para todas las referencias, el valor esta expresado en horas.

$$TP = 518 \text{ horas}$$

Indicador de productividad (IP): Indica el número de unidades producidas con relación al tiempo utilizado.

$$IP=3,63 \text{ u/hora}$$

10 FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

En el capítulo anterior se muestran las principales características que condicionan el proceso productivo en el taller textil y las restricciones que en se presentan en el flujo, con esta información se plantea estos aspectos de forma matemática con el fin de facilitar la codificación en el lenguaje de programación a utilizar.

Es sumamente importante mencionar que el modelo fue tomado y adaptado de la tesis de maestría llamado “metodología de programación de producción en un flow shop hibrido flexible con el uso de algoritmos genéticos para reducir el makespan. Aplicación en la industria textil.”⁵⁶ de la universidad nacional de Colombia del autor Juan Camilo Vargas, documento de gran influencia

1.21 RESTRICCIONES Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA PRODUCTIVO

Con el fin de clasificar y organizar las restricciones que condicionan la elaboración de las pantalonetas, a continuación, se detallan aspectos que permitirán la posterior construcción del modelo matemático para mencionado sistema.

1.21.1 Restricciones de precedencia

- Conforme a que el flujo es siempre lineal, factor que caracteriza el flow shop, se define que un trabajo se podrá programar en el proceso j , siempre y cuando cumpla con haber sido procesado en $j-1$.
- Los trabajos son independientes entre sí, es decir, no existen restricciones de secuencia entre los trabajos.
- Antes de iniciar el proceso de elaboración de cada pantaloneta se debe conocer la ruta de cada trabajo, teniendo en cuenta las etapas que no son requeridas por algunas referencias, para mencionadas etapas, tiempo $t=0$ (cero) de procesamiento. Es importante aclarar que Este criterio es de suma importancia ya que es quien determina la flexibilidad del flow shop.
- Los tiempos de alistamiento resultan un factor clave para estimar la productividad y rendimiento del taller textil, conforme a esto, no se agregarán a los tiempos de procesamiento, debido a que las tareas de alistamiento dependen de los trabajos entrantes y salientes en cada máquina y se consideran de este modo dependientes de la secuencia.

⁵⁶ LÓPEZ VARGAS, Juan Camilo. Metodología de programación de la producción en un flow shop hibrido flexible con el uso de algoritmos genéticos para reducir el makespan. Aplicación en la industria textil. Manizales. Universidad nacional de Colombia. 2013 En línea. < <http://bdigital.unal.edu.co/12238/1/4101603.pdf> >

1.21.2 Restricciones de construcción

- Cada máquina cuenta con la capacidad de procesar como máximo un trabajo a la vez y los trabajos se consideran indivisibles, no se permite la subdivisión de los trabajos, es decir, cada trabajo se procesa en una máquina cuando llega a cada proceso.
- Cuando inicia la operación de una máquina no se permite la interrupción del trabajo hasta que este haya terminado.
- Los tiempos de procesamiento son determinísticos, en unidades discretas, segundos o minutos, además, la flexibilidad del sistema se obtiene a partir de la asignación de un tiempo de procesamiento igual a 0 en las etapas donde los trabajos no requieran de su procesamiento.
- Los tiempos de transportes entre las máquinas se desprecian, no se consideran un factor crítico o de alto riesgo para la continuidad de las operaciones.
- Las actividades de mantenimiento, la empresa tiene definida una política de mantenimiento la cual se hace de manera anual, de igual forma las operarias antes iniciar la operación realizan un alistamiento de las máquinas y una revisión de cada una de las piezas de estas, además se supone que el mantenimiento de una máquina se puede realizar siempre y cuando se haya finalizado el procesamiento de un trabajo o está desocupada.
- Los trabajos a procesar se definen en un horizonte de planeación desde $t=0$ así mismo las máquinas están listas a producir desde el tiempo $t=0$.

1.21.3 Restricciones de capacidad

- Se supone disponibilidad ilimitada de materiales, es decir, el abastecimiento de las máquinas es continuo y no se presenta escasez de insumo.
- Los almacenamientos temporales entre máquinas y trabajos son infinitos (Como en cantidad de unidades como en tiempos máximos de espera) pues este factor no es cuello de botella y no afecta la secuencia de los trabajos.

1.21.4 Restricciones técnicas

- El sistema posee máquinas paralelas.
- Los reprocesos, causas de ineficiencias, errores en la producción y problemas de calidad, se modelan con un factor de eficiencia que afecta el tiempo de producción de cada máquina.

1.22 MODELO MATEMÁTICO

Se plantea el modelo matemático teniendo en cuenta lo mencionado en el segmento anterior donde todos los aspectos y restricciones influyen dentro de su construcción lo cual al llevarse al lenguaje matemático facilita la codificación de los mismos.

1.22.1 Función objetivo

El propósito fundamental de la metodología de la programación es obtener la asignación de los trabajos i , a las maquinas k , en los procesos j , en una secuencia de procesamiento l , con el fin de reducir el tiempo máximo de procesamiento o makespan ($Cmax$), definido como:

$$MIN(Cmax) \quad (12)$$

1.22.2 Restricciones

- **Asignación**

La variable X_{ikj} , determina que cada trabajo i es asignado solo una vez a la maquina k en cada etapa j , por lo tanto:

$$\sum_{k=1}^n X_{ikj} \leq 1 \quad X_{ijk}=(0,1) \quad (13)$$

La condición de que toda máquina k de la etapa j puede procesar un trabajo i como máximo viene dada por la siguiente expresión.

$$\sum_{i=1}^n X_{ikj} \leq 1 \quad X_{ijk}=(0,1) \quad (14)$$

- **Tiempos de procesamiento**

Cada trabajo i tendrá un tiempo de procesamiento y de alistamiento en cada máquina k de la etapa j del proceso productivo, se tiene un tiempo de terminación definido por la expresión:

$$TF_{ikj} = TI_{ikj} + TA_{ikj} + (TP_{ikj} * E_k) \quad (15)$$

Donde, TA_{ikj} es el tiempo de montaje i en la maquina k del proceso j , y TP_{ikj} es el tiempo de procesamiento del trabajo i , en la maquina k del proceso j . Además TP_{ikj} es afectado por el factor de eficiencia E_k que presenta la maquina k causado por los problemas de calidad, errores humanos y condiciones de la máquina.

- **Restricciones de precedencia**

La operación subsiguiente j de un trabajo i no puede iniciar antes de termina la operación j_0 , es decir:

$$TI_{ikj} \geq TF_{ikj_0} + TA_{ikj}, \quad j_0, j \in RP_i \quad (16)$$

Donde TF_{ij_0} es el tiempo de terminación del trabajo i en la etapa j_0 , TI_{ij} es el tiempo de inicio del trabajo i en el proceso j , y RP_i es la ruta de procesamiento del trabajo i a través de los procesos productivos, además se garantiza la secuencia de los trabajos i_0 e i en una maquina del proceso j : cuando:

$$TF_{i_0kj} \leq TI_{ikj} + TA_{ikj} \quad (17)$$

- **Makespan**

para garantizar la relación de la función objetivo con el tiempo de terminación de cualquier trabajo i en la última etapa de procesamiento j , se tiene:

$$M_{ikjl} \geq TF_{ikj} \quad (18)$$

- **Restricciones de capacidad**

La capacidad del sistema está establecida en función del tiempo disponible para que cada máquina pueda cumplir con la asignación y secuenciación realizada dentro del periodo de programación.

$$\sum_{i=1}^n TP_{ikj} \leq CP_k \quad (19)$$

Los tiempos de procesamiento de los trabajos asignados a la maquina k TP_{ikj} , no podrán superar el tiempo máximo que dispone su capacidad de procesamiento CP_k

Finalmente, se muestran las ecuaciones planteadas anteriormente desde la 12 hasta la 18 y se tiene el siguiente modelo matemático para el taller textil:

Función objetivo:

$$MIN(Cmax) \quad (12)$$

Sujeto a:

$$\sum_{k=1}^n x_{ikj} \leq 1 \quad x_{ijk}=(0,1) \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ikj} \leq 1 \quad x_{ijk}=(0,1) \quad (14)$$

$$TF_{ikj} = TI_{ikj} + TA_{ikj} + (TP_{ikj} * E_k) \quad (15)$$

$$TI_{ikj} \geq TF_{ikj_0} + TA_{ikj}, \quad j_0, j \in RP_i \quad (16)$$

$$TF_{i_0kj} \leq TI_{ikj} + TA_{ikj} \quad (17)$$

$$M_{ikjl} \geq TF_{ikj} \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^n TP_{ikj} \leq CP_k \quad (19)$$

$$x_{ikj}, U_k, M_k, E_k, \in (0,1) \quad (20)$$

$$TF_{ikj_0}, TI_{ikj}, TA_{ikj}, TP_{ikj}, Cmax \geq 0 \quad (21)$$

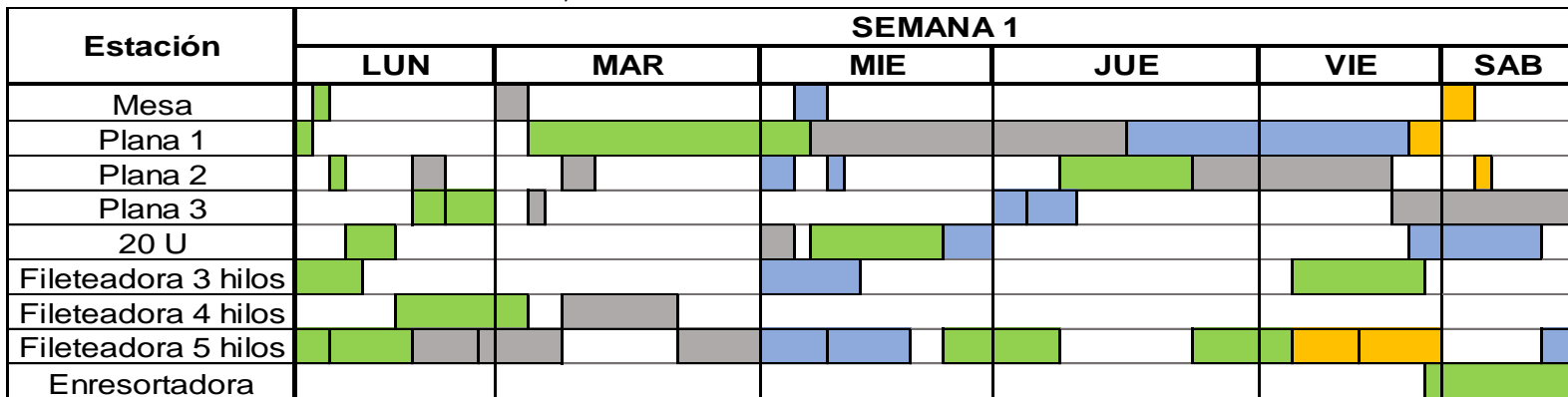
11 ANALISIS DE RESULTADOS

Teniendo planteado el modelo matemático y definidos los parámetros junto con sus restricciones, se procede a cargar la información al software de programación AMPL. Dado que la función objetivo se considera integral.

Una vez transcrita el modelo al lenguaje de programación AMPL, se hace uso del servicio gratuito “Neos Server”, el cual ofrece un conjunto de servidores en la nube con gran capacidad computacional que facilitan la resolución del problema, cabe aclarar que se utilizó el solver “FILMINT” para resolver el modelo debido a que ese ofrece buenos resultados en tiempos de cómputo debido a su algoritmo de linealidad.

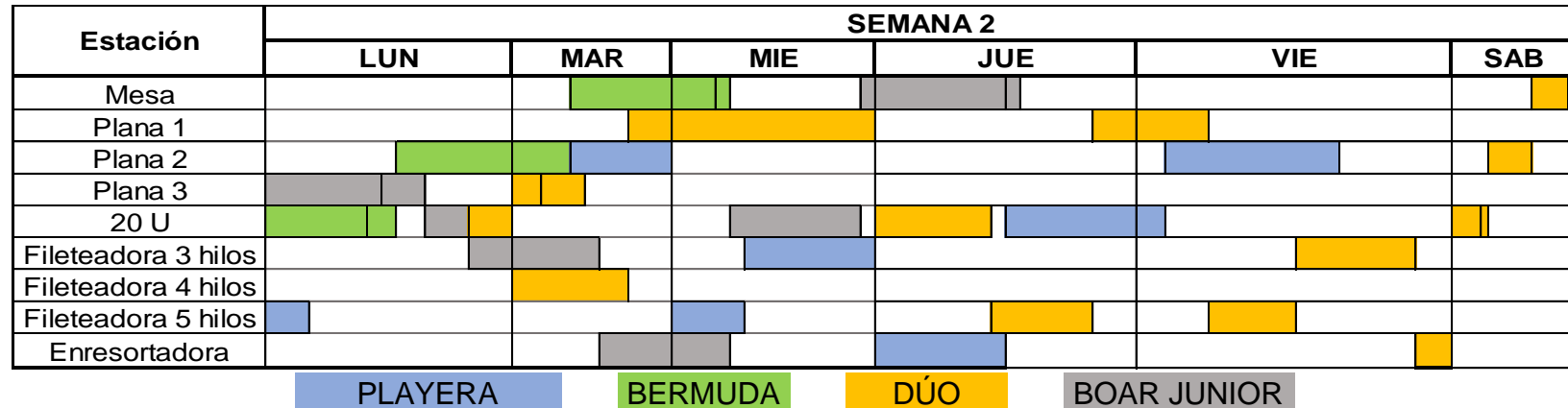
A continuación, se puede evidenciar la programación de la producción a través de un Gantt obtenido como resultado del modelo matemático donde se respetan todas las reglas de precedencia y las restricciones con las cuales se construyó el modelo para dar solución a la problemática que es de la minimización de la función Cmax que vienen definida como la minimización del Makespan y los tiempos de finalización de los trabajos.

Ilustración 18. Gantt obtenido del modelo, semana 1.



Fuente: Autores.

Ilustración 19. Gantt obtenido del modelo, semana 2.



Fuente: Autores.

Tiempo de producción (TP): Especifica el tiempo necesario para la elaboración de todos los trabajos para todas las referencias, el valor esta expresado en horas.

$$TP = 428 \text{ horas}$$

Indicador de productividad (IP): Indica el número de unidades producidas con relación al tiempo utilizado.

$$IP=4,39 \text{ u/hora}$$

Teniendo en cuenta lo anterior es importante mencionar que el método de programación actual es empírico y el obtenido por el modelo es resultado de las iteraciones que hacen posible encontrar una solución óptima, el periodo en el que se corre el modelo es el número de semanas necesarias para la finalización de todos los trabajos para el método actual es de tres semanas, el índice de productividad definido entre la relación del tiempo utilizado y la cantidad de pantalonetas fabricadas presento un incremento del 3,56 unidades/hora a 4,39 unidades/hora, es decir, un incremento de un 23%.

A continuación, se compara el tiempo de finalización de los trabajos actual y el tiempo de finalización obtenido como resultado del modelo matemático.

Tabla 35. Tiempos de finalización actual frente al obtenido por el modelo

Tipo	Tiempos de finalización (Horas)
Actual	518
Modelo	428

Fuente: Autores.

Como se puede evidenciar, el modelo mejoraría el tiempo de productividad total como se puede observar en la siguiente tabla por medio de la optimización del tiempo de finalización en todos los trabajos para todas las referencias representados en un ahorro de 90 horas de trabajo, este ahorro representa mayor aprovechamiento del tiempo y la reducción de tiempos ociosos entre máquinas. Teniendo en cuenta lo mencionado inicialmente que el taller textil tuvo en promedio 1819 unidades /mes y se encontraba por debajo de la competencia, este ahorro de 90 horas representa 395 unidades permitiendo mantenerse y competir en el mercado por volumen.

Tabla 36. Índice de productividad total real versus propuesta.

mes	Real (3,56 Unidades/hora)	Propuesto (4,39 Unidades/hora)
Enero	1,3	1,6
Febrero	1,4	1,7
Marzo	1,2	1,5
Abril	1,4	1,7
Mayo	1,1	1,3
Junio	1,0	1,2
Julio	1,2	1,5
Agosto	1,4	1,7
Septiembre	1,0	1,3
Octubre	1,2	1,5
Promedio	1,2	1,5
Incremento	22%	

Fuente: Autores.

Recomendaciones:

- El modelo se debe correr cada que lleguen varias órdenes de producción.
- El taller debería disponer de una persona que conozca el modelo para realizar las corridas correctamente

12 CONCLUSIONES

La aplicación de modelos de optimización para abordar problemas de flow shop flexible resulta ser adecuado debido a que presenta resultados que minimizan el tiempo de procesamiento total, mediante la óptima asignación de recursos y secuenciación de operaciones, sin embargo, para dar solución a problemas de gran complejidad, se requiere de gran capacidad computacional.

En la revisión de la literatura se evidencia que la investigación para los problemas de optimización se opta por la utilización de heurísticas y meta heurísticas, dado que la capacidad computacional es mucho menor ofrecen resultados aproximados a un óptimo, sin embargo, para el caso puntual se logra dar una solución óptima debido a que no sobrepasa la capacidad computacional ofrecida por el servidor neos

Por otra parte, es importante decir que las investigaciones que indagan en dar solución al problema mediante la optimización realizan su aplicación en casos de estudio planteados por el autor y en ocasiones no presentan la realidad de la empresa, mediante este trabajo se presenta una empresa real con una problemática que se confronta con la propuesta de solución planteada y se logra dar excelentes resultados, disminuyendo el tiempo de ciclo de todos los trabajos, minimizando el makespan y permitiendo aumentar la capacidad de producción y el aumento de los volúmenes de entrega.

Del mismo modo el diagnóstico realizado a la empresa permitió conocer de manera suficiente los procesos operativos y la forma en que los recursos impactan el desarrollo de cada operación, así mismo, fue la base para la construcción del modelo de optimización y para la selección de aquellas actividades críticas a incluir, se evidencia la importancia de desarrollar esta actividad, previo a la elaboración de cualquier modelación.

La implementación del modelo de optimización resulta ser apropiado para el taller textil objeto de estudio, puesto que representa mayor aprovechamiento del tiempo y sus operarios permitiendo aumentar los índices de productividad para la elaboración de cada una de las referencias de pantaloneta y de este modo poder contar con mayor capacidad, logrando el cumplimiento de los programas de producción cumpliéndole al cliente en las cantidades y tiempos establecidos.

El modelo matemático propuesto en este documento es adecuado para ser aplicado en la empresa caso de estudio, o cualquier otra empresa de la industria manufacturera que enfrente el problema de programación de operaciones en ambientes flow shop flexibles.

13 LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Con el fin de dar continuidad al tema, se proponen para futuros estudios tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Posibilidad de ingreso de nuevos proyectos (ordenes, trabajos) durante el proceso de fabricación.
- Considerar tiempos de alistamiento y tiempos de transporte entre áreas de producción.
- Posibilidad de interrumpir operaciones y continuarlas en otros recursos.
- Considerar restricciones de materias primas.

14 REFERENCIAS Y CITAS BIBLIOGRAFICAS

ICONTEC. Norma técnica colombiana. NTC 5613. 2017.

GARZÓN, Juan Esteban. Economía al Día, Industria Textil Colombiana 2018: telas inteligentes y tendencias ecológicas. Marzo 14 del 2018. [En línea]. Consultado en marzo 22 del 2019. Disponible en < <https://www.minuto30.com/industria-textil-colombiana-2018-telas-inteligentes-y-tendencias-ecologicas/573057/> >

KANAWATY, George. Introducción al estudio del trabajo: Estudio de métodos y selección de trabajos. Cuarta edición. México: Oficina internacional del trabajo. 1996. 78.p.

LÓPEZ VELÁSQUEZ, Sady Enith (propietaria de un taller de maquilado textil de pantalonetas). Reunión para recolectar información del taller. Tuluá. Marzo del 2018.

Revista Dinero. Sector textil-confección en jaque, ¿cuál es el futuro? [En línea]. Consultado en marzo de 2018. Disponible en <<http://www.dinero.com/edicion-impres/pais/articulo/crisis-del-sector-textil-y-confeccion-en-colombia-2017/249271>>

Universidad tecnológica nacional. Ingeniería textil: Métodos, tiempos y movimientos. [En línea]. Consultado en marzo del 2018. Disponible en <<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/737/2/04%20IT%20096%20TESI%20S.pdf>>. 26.p.

PEÑA, Ivailo; Santa cruz, Rene, Modelo de planeación de la producción para una empresa agroindustrial, 2015. Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892001000200005.p3.

Revista Dinero. Industria de la moda sigue reinventándose. [En línea]. Consultado en marzo de 2018. Disponible en <https://www.dinero.com/edicion-impres/negocios/articulo/industria-de-la-moda-sigue-reinventandose/237316>

PROGRESSA LEAN. Herramienta lean: VSM ¿cómo identificar el desperdicio? 2018. [En línea]. Disponible en <<http://www.progressalean.com/vsm-value-stream-mapping/>>

M. L. Pinedo, *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*. New York: Springer Science + Business Media, LLC, 2005.

H. Hentous, and B. Merabti, "A branch and bound heuristic for the flow shop problem", in *2010 Fourth International Conference on Sensor Technologies and Applications*, 2010. 352.p.

F. S. Yao, M. Zhao, and H. Zhang, "Two-stage hybrid flow shop scheduling with dynamic job arrivals", *Computers & Operations Research*, vol. 39. 2012. 1701. p.

S. Wang, and M. Liu, "A heuristic method for two-stage hybrid flow shop with dedicated machines", *Computers & Operations Research*, vol. 40, 2013. 438. p.

P. Qiao, and C. Sun, "Research on hybrid flow-shop scheduling problem based on improved immune particle swarm optimization", in *2011 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce (AIMSEC)*, 2011. 4240.p.

M. Gholami, M. Zandieh, and A. Alem-Tabriz, "Scheduling hybrid flow shop with sequence-dependent setup times and machines with random breakdowns", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 42, 2009.189.p.

E. Cevikcan, M. B. Durmusoglu, and M. Baskak, "Integrating parts design characteristics and scheduling on parallel machines", *Expert Systems with Applications*, vol. 38. 2011. 13232 p.

C. Gicquel, L. Hege, M. Minoux, and W. van Canneyt, "A discrete time exact solution approach for a complex hybrid flow-shop scheduling problem with limited-wait constraints", *Computers & Operations Research*, vol. 39. 2012. 629.p.

H. S. Choi, J. S. Kim, and D. H. Lee, "Real-time scheduling for reentrant hybrid flow shops: A decision tree based mechanism and its application to a TFT-LCD line", *Expert Systems with Applications*, vol. 38, 2011. 3514.p.

S. W. Lin, and K. C. Ying, "Minimizing makespan in a blocking flowshop using a revised artificial immunesys

F. Jabbarizadeh, M. Zandieh, and D. Talebi, "Hybrid flexible flowshops with sequence-dependent setup times and machine availability constraints", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 57, pp. 949-957, 2009. *tem algorithm*", *Omega*, vol. 41, 2013. 383. p.

M. R. Amin-Naseri, and M. A. Beheshti-Nia, "Hybrid flow shop scheduling with parallel batching", International Journal of Production Economics, vol. 117. 2009. pp. 185.p.

K. R. Baker and D. Altheimer, "Heuristic solution methods for the stochastic flow shop problem", European Journal of Operational Research, vol. 216, 2012. 172.p.

Z. Han, H. Shi, F. Qiao, and L. Yue, "DE solution for the earliness/tardiness case of hybrid flow-shop scheduling problem with priority strategy", in Proceedings of the 2011 International Conference on Modelling, Identification and Control, 2011. 11.p.

C. S. Huang, Y. C. Huang, and P. J. Lai, "Modified genetic algorithms for solving fuzzy flow shop scheduling problems and their implementation with CUDA", Expert Systems with Applications, vol. 39, 2012. 4999. p.

LEAN SOLUTIONS. VSM, Value stream mapping. ¿Qué es VSM? Bogotá, Colombia. [En línea]. Consultado en 2018-09-03. Disponible en <<http://www.leansolutions.co/conceptos/vsm/>>

PEÑA, Ivailo y SANTA CRUZ, Rene. Modelo de planeación de la producción para una empresa agroindustrial. 2015. [en línea]. Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892001000200005. 6. p.

FANJUL PEYRÓ, Luis. Nuevos algoritmos para el problema de secuenciación en máquinas paralelas no relacionadas y generalizaciones. Universidad politécnica de valencia. 2010. tesis doctoral en línea <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/9312/tesisUPV3454.pdf>. p. 51.

IBRAHIM H.,Osman and JAMES P., Kelly. Meta-Heuristics: Theory and Applications.

Ed. Kluwer Academic. Boston. 1996.

COMPANYS PASCUAL, Ramón; FONOLLOSA, Joan B. Nuevas técnicas de gestión de stocks: MRP y JIT. Alfaomega grupo editor, S.A. México. 1999. 16. p.
SINHA, S. M. Mathematical Programming. Elsevier. (2006).

Publica. Guía para la construcción y análisis

MEJÍA, Jeison. conceptos ingeniería industrial: Eficacia, eficiencia y efectividad. En línea. [Consultado en marzo de 2019]. Disponible en < <http://conceptosingindustrial.blogspot.com/2014/10/eficacia-eficiencia-y-efectividad.html> >

Significados. Significado de productividad. [Consultado en 7 de febrero de 2019]. En línea. Disponible en: < <https://www.significados.com/productividad/> >

QUIÑONEZ VILLA, Nicolás y SALINAS GAMBOA, Claudia. Sistema de mejora continua en el área de producción de la empresa "TEXTILES BETEX S.A.C" utilizando la metodología PHVA. Lima, Perú. 2016. [en línea]. Disponible en < http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/usmp/2140/1/quinonez_salinas.pdf >

ROJAS RUIZ, David. Propuesta de estandarización de métodos y tiempos en el proceso productivo de la empresa industrias SUR EU. 2015. [en línea]. Disponible en < <http://repositorio.ucp.edu.co:8080/jspui/bitstream/10785/3906/1/DDMIIND15.pdf> >

QUEVEDO ZALDÍVAR, Carlos Enrique y VÁSQUEZ SÁNCHEZ, José Antonio Mejora en el proceso de producción de polos aplicando lean manufacturing para incrementar la productividad en la empresa textil confecciones Chávez Cajamarca S.A.C. 2017.

ARREDONDO ORTEGA, Gerson; OCAMPO JARAMILLO, Kelly Vanessa; OREJUELA CABRERA Juan Pablo y ROJAS TREJOS, Carlos Alberto. Modelo de planeación y control de la producción a mediano plazo para una industria textil en un ambiente make to order. [en línea]. Disponible en < <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v16n30/1692-3324-rium-16-30-00169.pdf> > _2015

P. Egri, A. Kovács, A Marcus and J Vánza, "Project-Oriented approach to production planning and scheduling in Make to Order Manufacturing", Production Systems and Information Engineering, vol. 2, No. 1, Diciembre 2004. 22. p.

S. Ruiz, O. D. Castrillón and W. A. Sarache, "A Multiobjective Methodology to Optimize a Job Shop Environment", Información Tecnológica, vol. 23, No. 1, Abril 2011. 35.p.

CORTES SORIANO, Yarisma y HERNÁNDEZ GONZÁLES, Luis. Los sistemas de producción e una empresa. Citado en 2016-06-13. [En línea]. Consultado en 2018-

09-12. Disponible en < <https://www.emprendices.co/los-sistemas-produccion-una-empresa/>>

GARZA RIOS, Rosario; GONZÁLEZ SÁNCHEZ, Caridad. Modelo matemático para la planificación de la producción en la cadena de suministro. 2004. [En línea]. Consultado el 4 de diciembre de 2018. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/49594894_MODELO_MATEMATICO_PARA_LA_PLANIFICACION_DE_LA_PRODUCCION_EN_LA_CADENA_DE_SUMINISTRO>

TORRES, Jairo Humberto. Elementos de producción, planeación y control. Vol. II. Universidad católica de Colombia. Editorial puntos gráficos. Colombia 1994. 15. p.

Diccionario de la real academia española. [En línea]. Consultado en 2018-09-12. Disponible en <<http://dle.rae.es/?id=YErIG2H>>

MARÍN VILLADA, Alba Lucía. Metodología de la investigación, clasificación de la investigación. Citado en 2008-03-07. [En línea]. Consultado en 2018-08-25. Disponible en <<https://metinvestigacion.wordpress.com/>>

VAN DALEN, Deobold B. y MEYER, William J. Manual de técnica de la investigación educacional. Síntesis de “estrategia de la investigación descriptiva”. Citado en 2006-09-12. [En línea]. Consultado en 2018-08-25. Disponible en <<https://noemagico.blogia.com/2006/091301-la-investigacion-descriptiva.php>>

SABINO, Carlos. El Proceso de Investigación. Ed. Panapo, Caracas, 1992. 219. p.

SALAZAR ZULUAGA, Yessica Alejandra; PATIÑO MONTOYA, Erika Fernanda. Diseño de un modelo de costeo basado en la metodología ABC para manufacturas paraíso de Tuluá. Trabajo de grado contador público. Tuluá valle del cauca. Universidad del valle. 2017. 36. p.

LÓPEZ VARGAS, Juan Camilo. Metodología de programación de la producción en un flow shop híbrido flexible con el uso de algoritmos genéticos para reducir el makespan. Aplicación en la industria textil. Manizales. Universidad nacional de Colombia. 2013 En línea. < <http://bdigital.unal.edu.co/12238/1/4101603.pdf> >

15 APÉNDICE

#Modelo

#Conjuntos

set trabajo;

set maquina;

set proceso;

set Precedencia {trabajo} ordered within proceso;

#Parametros

param TA {maquina};

param TP {trabajo, proceso};

param CP {maquina};

#Variables

var M {i in trabajo, k in maquina, j in proceso};

var X {i in trabajo, k in maquina, j in proceso} binary;

var TF {i in trabajo, k in maquina, j in proceso};

var TI {i in trabajo, k in maquina, j in proceso};

#Función Objetivo

minimize Makespan {i in trabajo, k in maquina, j in proceso}: M[i,j,k];

#Restricciones

subject to asignación1 {i in trabajo, j in proceso}:sum{k in maquina} X[i,k,j] <=1;

subject to asignación2 {k in maquina, j in proceso}:sum{i in trabajo} X[i,k,j] <=1;

subject to tiempo_de_procesamiento {i in trabajo, k in maquina, j in proceso}:
TF[i,k,j] = TI[i,k,j] + TA[k] + TP[i,j];

subject to precedencia {i in trabajo, k in maquina, j in Precedencia[i]: ord(j)<>1}:
TI[i,k,j] >= TF[i,k,prev(j)] + TA[k];

subject to makespan {i in trabajo, k in maquina, j in proceso}: M[i,k,j] >= TF [i,k,j];

subject to capacidad {k in maquina, j in proceso}: sum{i in trabajo} TP[i,j] <= CP[k];

set trabajo:= 1 2 3 4;

set maquina:= 1 2 3 4 5 6 7 8 9 ;

set proceso:= 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15;

set Precedencia[1]:=1 6 3 5 9 12 7 8 13 2 15 11 10 14 ;

set Precedencia[2]:=1 9 12 6 3 5 7 8 13 14 2 4 11 10 15;

set Precedencia[3]:=1 6 9 5 7 8 13 2 15 3 4 14 11 12 10;

set Precedencia[4]:=3 5 6 8 12 11 2 4 7 9 14 15 ;

param TA:

1	5
2	5
3	5
4	5
5	5
6	5
7	5
8	5
9	5:=;

param TP:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	13	14	15 :=									
1	60.2	2.3	177.2	15.5	76.3	201.2	20.4	41.5	20.8	3.7	69	
	147.5	88.2	75.5	8.1								
2	60.2	2.3	178.7	15.5	81.1	201.2	20.4	44.5	20.8	3.7	69	
	147.5	88.2	75.5	8.1								
3	60.2	2.3	132.8	15.5	81.1	201.2	20.4	44.5	20.8	3.7	69	
	147.5	88.2	75.5	15								
4	0	2	290	15	44.5	88.2	3.7	81.1	69	20.8	20.4	
	201.2	0	147.5	15;								

param CP:=

1	540
2	3060
3	1800
4	600
5	2400
6	1200
7	1200
8	1800
9	600;

#Archivo Comandos.run

#DISPLAY THE PROBLEM FORMULATION

#EXPAND Makespan;

#SOLVE solve;

#SHOW RESULTS display M, X, TF, TI, Makespan;