

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Industrial



Comparativa entre celdas de manufactura y líneas de producción analizando el
impacto de las variables productivas en el tiempo de fabricación mediante
ProModel

*Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Industrial.*

AUTOR:

Oscar Gabriel Zhinin Matute

C.I.: 0105257919

DIRECTOR:

Juan Carlos Llivisaca Villazhañay

C.I.: 0105627269

Cuenca – Ecuador

Octubre - 2018



Resumen

El adoptar un sistema productivo referente a celdas de manufactura o líneas de producción se vuelve cada vez más común, pero el decidir cuál de los dos sistemas implementar en una industria es un tópico que carece de respaldo bibliográfico puesto que el enfoque de estudios previos ha sido mejorar cada sistema por separado o modificar variables específicas que aumenten el rendimiento de una empresa. La presente investigación permitió demostrar mediante una comparativa de tipo descriptiva-cuantitativa entre celdas de manufactura y líneas de producción, cómo modificar las variables productivas afecta de diferente manera a los tiempos de fabricación. Adicionalmente, se analizó su nivel de impacto sobre estos tiempos mediante la inclusión de datos de dos modelos de producto del sector textil, camisetas T-shirt y Polo, al entorno de simulación ProModel, dando como resultado que cada variable afecta de manera distinta y que la conjunción de las mismas puede entregar mejores resultados que modificarlas individualmente. De esta manera, se logró demostrar para el caso analizado (sector textil), que variables como: el número de unidades procesadas y el producto en proceso tienden a entregar mejores resultados mediante una fabricación en líneas de producción; y alterar los arribos y la distancia entre operaciones, generan mayores beneficios mediante una fabricación en celdas de manufactura; adicional a ello, la distancia externa a las estaciones puede ser tratada por igual para ambos sistemas productivos.

Palabras clave

Celdas de manufactura, líneas de producción, variables productivas, tiempos de fabricación, ProModel.



Abstract

Adopting a productive system relating to manufacturing cells or production lines becomes increasingly common, but to decide which of the two systems has to be implemented in an industry is a topic that lacks bibliographic support. The focus of previous studies has been to improve each system separately or modify specific variables that increase a company's performance. In the present research, through a descriptive-quantitative comparison between manufacturing cells and production lines, it was possible to demonstrate how the modification of the productive variables affects manufacturing times in a different way. Additionally, the variables' level of impact on these times was analyzed through the inclusion of data to the simulation environment ProModel from two products model of the textile sector, T-shirts and Polo shirts. The result was that each variable affects manufacturing times in a different way and the conjunction of them can deliver better results than modifying them individually. In this way, it was possible to demonstrate that: the number of units processed and the work in process tend to deliver better results through production lines; the modification of arrivals and the distance between operations generate greater benefits through manufacturing cells. In addition, the external distances to the stations can be treated equally for both productive systems.

Keywords

Manufacturing cells, production lines, productive variables, manufacturing times, ProModel.



Tabla de contenido

1. Introducción	7
2. Materiales y Métodos	9
2.1 Categorización de las variables productivas en función del tiempo de fabricación	9
2.1.1 Identificación de las variables productivas que afectan a cada sistema de manufactura ...	10
2.1.2 Análisis del impacto de las variables productivas en el tiempo de producción	11
2.2 Implementación de las variables productivas y los tiempos necesarios al entorno de simulación	15
2.2.1 Implementación de las variables productivas a los elementos requeridos por ProModel. .	15
2.2.2 Evaluación de los tiempos requeridos para la simulación en ProModel	16
2.3 Selección del modelo de producto para la simulación	17
2.3.1 Camiseta T-shirt.....	18
2.3.2 Camiseta Polo	22
3. Resultados y Discusión	26
3.1 Introducción de variables productivas y tiempos a ProModel	26
3.2 Generación de resultados mediante ProModel	28
3.3 Comparativa Línea de producción versus Celda de manufactura	36
3.4 Discusión	38
4. Conclusiones	40
Agradecimientos	41
Bibliografía	42



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Oscar Gabriel Zhinin Matute en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Comparativa entre celdas de manufactura y líneas de producción analizando el impacto de las variables productivas en el tiempo de fabricación mediante ProModel", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 29 de octubre de 2018

Oscar Gabriel Zhinin Matute

C.I: 0105257919



Cláusula de Propiedad Intelectual

Oscar Gabriel Zhinin Matute, autor del trabajo de titulación "Comparativa entre celdas de manufactura y líneas de producción analizando el impacto de las variables productivas en el tiempo de fabricación mediante ProModel", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 29 de octubre de 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Oscar Gabriel Zhinin Matute', written over a horizontal line.

Oscar Gabriel Zhinin Matute

C.I: 0105257919



1. Introducción

En un entorno globalizado en donde se busca competir en igualdad de condiciones, la implementación de nuevos sistemas de manufactura ha llevado a que hoy en día la fabricación a través de celdas de manufactura y líneas de producción se encuentre en muchas industrias. Según Egilmez, Erenay, & Süer (2014), en una celda de manufactura se ensamblan partes similares identificadas como “familias de piezas” en una disposición de máquinas, equipos y trabajadores que permite procesar una familia parcial dentro de la celda. Por otro lado, como mencionan Restrepo, Medina, & Cruz (2008), una línea de producción está formada por una secuencia de operaciones, dentro de las cuales mediante un adecuado manejo de materiales, se realizan un subconjunto de tareas diversas con el propósito de finalizar el ensamblaje de un producto. Sin embargo, la ardua labor por identificar el sistema productivo eficiente en una empresa, ha llevado a que se seleccione uno de los dos sistemas, tomando en consideración las diferentes variables que afectan a cada uno de ellos.

A través de la implementación de un sistema de manufactura celular, Adil & Rajamani (2001), mencionan ventajas como: mejora de la eficiencia de producción, reducir principalmente el inventario en proceso, tiempo setup, manejo de materiales y tiempo de fabricación. Del mismo modo, Pérez (2008), agrega que las celdas reducen el manejo de la pieza mayor, permiten operarios altamente capacitados, entregan flexibilidad en la fabricación y se adaptan a los cambios en la demanda. Delgado, Cortés, & Duarte (2005), por su parte, indican que una celda es capaz de cumplir con las fechas de vencimiento o deseadas, minimizar los plazos de entrega, minimizar el tiempo setup y minimizar el trabajo en proceso, al considerar la capacidad de la maquinaria para maximizar la utilización de las mismas. Contrario a ello, Mohammadi & Mohammadi (2016), exponen que en una celda de manufactura pueden existir limitaciones con respecto a la consideración del tamaño de la familia, puesto que causa complejidad en el flujo de materiales y la programación de la celda. De la misma manera, Das (2008), extrae los principales problemas al implementar celdas, siendo estos, la reducción de la flexibilidad y la reducción de la utilización de las máquinas, lo cual provoca que la fecha de vencimiento se vea afectada adversamente. Del mismo modo, en el estudio realizado por Elsayed & Kao (1990), se observa que puede existir una restricción con respecto a la distancia entre diferentes grupos de máquinas dentro de una celda, debido a las distancias que recorren los materiales para el ensamblaje de un producto.

Desde otro punto de vista, Adnan, Arbaai, & Ismail (2016), mencionan que la implementación de líneas de producción, a partir de un adecuado balanceo de las mismas, son capaces de minimizar el tiempo de ciclo y maximizar la tasa de producción con un mínimo de inventario en proceso, según el número de operaciones dentro de la línea. Kekre, Rao, Swaminathan, & Zhang (2003), agregan que una



línea balanceada entrega mejores resultados cuando es corta, debido a la variabilidad del tiempo de procesamiento. Asimismo, Kursun & Kalaoglu (2009), argumentan que una adecuada asignación de tareas a las máquinas en una línea balanceada minimiza el flujo de trabajo entre operadores, reduciendo el tiempo de procesamiento, así como el trabajo en proceso y, por lo tanto, aumenta la productividad. En contraste a ello, Becker & Scholl (2006), explican que las líneas en serie son bastante inflexibles debido a la orientación rígida del proceso, pero que podrían superar este proceso a través de un cambio en el diseño, como en su caso, un diseño en forma de U, además agregan que pueden existir restricciones con respecto: a la asignación de materiales, debido a que todas las estaciones deben estar equipadas por igual; a la asignación de tareas, a causa de la incompatibilidad entre las mismas con respecto al espacio (transportes) y el tiempo (mismo tiempo para todas las estaciones); y a la asignación de operarios debido a la distinta habilidad de los mismos. Otro de los problemas encontrados en líneas es el tiempo setup relacionado con el ingreso de nueva mano de obra, ya que como menciona Esa, Rahman, & Jamaludin (2015), la inclusión de nuevos operarios podría tener un efecto negativo en el tiempo setup, puesto que éste será mayor hasta que el nuevo trabajador se capacite y obtenga la experiencia necesaria para realizar el trabajo, además, el requerimiento de herramientas ocasiona que el operario se traslade de un lugar a otro, lo cual resulta en un incremento adicional del tiempo setup. Adicional a ello, Johnson (2005), argumenta que el tiempo setup en una línea al igual que el tiempo de flujo de lote, aumentarían según el tiempo necesario para mover una unidad a la primera estación de la línea y el tiempo resultante de la transferencia de las unidades entre estaciones, por lo tanto, transferir inventario entre estaciones es menor con respecto a la alimentación que se da desde fuera de la línea hacia cada estación.

De acuerdo a la literatura previa, observamos cómo distintos autores se centran en distintas variables productivas para la implementación o mejora del sistema productivo que se está analizando, además variables como: capacidad de la maquinaria (Delgado et al., 2005), la velocidad de alimentación (Gultekin, Akturk, & Karasan, 2010), los operarios (Egilmez et al., 2014), y el tiempo setup en concordancia con el tamaño de lote (Gupta & Schaller, 2006; Mohammadi & Mohammadi, 2016), son analizados por otros autores en la implementación u optimización de celdas de manufactura, con el objetivo de minimizar el tiempo de finalización de todos los trabajos, ya sea mediante la aplicación de algoritmos, modelos matemáticos o simulación. Del mismo modo, variables como: los operarios (Ruzanita & Wan, 2012), los tiempos de transporte (Sirovetnukul & Chutima, 2010), el tiempo setup (Esa et al., 2015), y el flujo adecuado de los materiales (Domingo, Alvarez, Melodía, & Calvo, 2007), son tomadas en consideración por distintos autores a la hora de implementar o mejorar las líneas de producción, a través de simulación, estudios computacionales, observaciones y entrevistas, o el uso de herramientas de Lean Manufacturing, para así lograr minimizar el tiempo de producción. Por lo tanto, estas variables productivas pueden ser utilizadas para establecer una comparativa de tipo descriptivo-cuantitativo entre celdas de manufactura y líneas de producción que permita analizar la sensibilidad que tiene el tiempo de fabricación a la modificación de estas variables durante las distintas etapas de



producción, demostrando que en ciertos escenarios se obtienen mejores resultados por parte de celdas de manufactura o líneas de producción. Por esta razón, el consecuente estudio se basará en la categorización e identificación del impacto que tienen las variables productivas en el tiempo de fabricación durante las distintas etapas de producción de cada sistema productivo, de manera que se pueda generar un modelo de decisión, que permita a los lectores distinguir cuándo es aplicable un sistema de celdas de manufactura o de líneas de producción en función de la productividad generada por los distintos escenarios en un entorno de simulación.

2. Materiales y Métodos

Dado el enfoque descriptivo-cuantitativo que se llevará a cabo en el desarrollo de la comparativa se ha optado por partir de una clasificación general con base a la bibliografía de las variables productivas, para observar la relación que tienen dentro de cada sistema de manufactura, y a su vez, categorizar los tiempos de fabricación para analizar el impacto que tienen estas variables sobre los tiempos. A partir de ello, mediante el estudio del modelo de producto, las variables serán agrupadas más detalladamente con el propósito de demostrar la existencia de esas relaciones y su nivel de impacto dentro del sector de producción analizado. De esta manera, la primera sección se encargará de detallar la relación existente entre las variables productivas, tiempos de fabricación y sistemas de manufactura; la segunda sección se enfocará en cómo estas variables productivas y tiempos de fabricación pueden ser integradas a un entorno de simulación para su respectivo análisis; y la tercera sección finalizará con el estudio del modelo de producto tomados de la bibliografía, para comparar cómo en un mismo producto, con las mismas variables, el mismo estudio de tiempos, y considerando que ambos sistemas productivos han pasado por la curva de aprendizaje, se pueden obtener distintos escenarios de fabricación en los que celdas de manufactura y líneas de producción entregan mejores resultados, debido a la influencia de las variables productivas en los tiempos de fabricación.

2.1 Categorización de las variables productivas en función del tiempo de fabricación

Tomando como fundamento base los estudios realizados en la implementación u optimización de celdas de manufactura y líneas de producción, se ha observado que ambos sistemas productivos contienen variables específicas (variables productivas) dentro de límites establecidos, donde la literatura, con respecto a celdas, da un enfoque hacia el tamaño adecuado de lotes, operarios multifuncionales, flexibilidad de producción, tiempo setup, manipulación de materiales, y número de celdas y trabajadores (Kaku, Gong, Tang, & Yin, 2009; Kalpakjian & Schmid, 2008; Schaller, 2007; Torres, 1999); mientras que para líneas tenemos: secuencia de operaciones, balanceo de líneas, número de operarios y de estaciones, especialización de la operación, nivel de calidad, cuellos de botella y políticas de distribución (Groover, 1997; Kekre et al., 2003; Peláez, Payán, & Salazar, 2016; Perez & Parra, 2010).



En consecuencia, se ha decidido partir de una agrupación general de estas variables productivas para un mejor análisis de las mismas, siendo categorizadas en: capacidad (maquinaria y mano de obra),

Tabla 1. Categorización del tiempo de fabricación durante el proceso de producción

Tiempos externos a la línea o celda para el transporte de materiales, herramientas e insumos necesarios hacia cada estación de trabajo	Tiempos necesarios para que todos los insumos requeridos por cada estación de trabajo (materia prima, materiales, herramientas) sean repuestos cada vez que el sistema lo necesite.
Tiempos involucrados en la realización de la operación dentro de la estación de trabajo	Macro y micromovimientos que realizan los operadores para dar por concluida su actividad de trabajo. Tiempos referentes a la maquinaria (setup) y a las necesidades de los operadores según el proceso físico (producción continua o lotes de producción).
Tiempos de transporte involucrados en el traslado de los productos terminados entre estaciones de trabajo u operaciones y producto final	Tiempo que el producto pasa en cola a espera de ser producido, tiempo de traslado de una estación a otra, o hasta bodega de producto terminado y tiempo improductivo de productos que no cumpla las condiciones especificadas por la línea o celda, que hagan que el mismo sea expulsado del proceso de fabricación o sea reprocesado.

Fuente: Elaboración propia.

producto (características, familia y variedad), lineamientos de producción (inspección, flujo de producción y tipo de producción) y entorno interno y externo de fabricación (cambios en la demanda, ambiente de producción). Además, la literatura se enfoca en establecer una correcta relación de estas variables con respecto al tiempo total de producción adecuado para cada sistema productivo, considerando las distancias recorridas a través de una sucesión de operaciones (tiempo de transporte) (Schaller, 2007), el trabajo realizado por los sistemas productivos (tiempo de operación) y los factores externos que afectan a los mismos (tiempo externo) (Johnson, 2005; Kaku et al., 2009; Kekre et al., 2003); siendo estos tiempos igualmente categorizados en la Tabla 1.

2.1.1 Identificación de las variables productivas que afectan a cada sistema de manufactura

De la categorización previa de variables productivas se generó la Tabla 2 que desglosa las variables productivas dentro de cada sistema de manufactura, y las agrupa en las diferentes categorías de tiempos en base a los autores revisados; apreciándose cierta similitud para ambos sistemas.

Sin embargo, la diferencia radica en cómo para un mismo conjunto de operaciones, con un grupo de variables iguales que afectan a un mismo entorno de producción, los tiempos de fabricación varían debido a los movimientos generados por operadores capacitados y el tránsito de materiales, insumos y recursos que se dan durante todo el proceso de transformación del producto.



Tabla 2. Agrupación de las variables productivas por categoría de tiempos y sistema de manufactura

Tiempos de fabricación		Variables productivas	
Categoría de tiempos	Autores	Línea de producción	Celda de manufactura
Tiempos externos a la línea o celda para el transporte de materiales, herramientas e insumos necesarios hacia cada estación de trabajo.	Schaller (2007); Askin y Mitwasi (1990); Perez y Parra (2010)	Transporte de materia prima a las estaciones de trabajo. Atrasos por falta de materiales. Reposición de insumos necesarios para la fabricación.	Transporte de materia prima a las celdas de manufactura. Atrasos por falta de materiales. Reposición de insumos necesarios para la fabricación.
Tiempos involucrados en la realización de la operación dentro de la estación de trabajo.	Kaku, et al. (2009); Torres (1999); Pelaez et al. (2016); Perez y Parra (2010); Johnson (2005)	Therbligs. Setup. Suplementos u Holguras. Reprocesos. Proceso productivo (continuo o lotes). Cuellos de botella.	Therbligs. Setup. Suplementos u Holguras. Reprocesos. Proceso productivo (continuo o lotes).
Tiempos de transporte involucrados para el traslado de los productos terminados entre estaciones de trabajo u operaciones y producto final.	Kalpakjian y Schmid (2008); Groover (1997); Kekre et al. (2003); Pelaez et al. (2016); Flores (2006)	Disposición de las estaciones de trabajo. Número de estaciones de trabajo. Transporte de producto terminado entre estaciones. Espera del producto en cola a ser ensamblado. Reprocesos.	Disposición de las celdas de manufactura. Número de celdas de manufactura. Transporte de producto terminado entre operaciones de la celda. Espera del producto en cola a ser ensamblado. Reprocesos.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.2 Análisis del impacto de las variables productivas en el tiempo de producción

De la relación obtenida en la Tabla 2, se generó la Tabla 3 para obtener el cálculo del tiempo de fabricación por variable productiva, tanto en la celda de manufactura como en la línea de producción. Cabe recalcar que se está analizando cada división de tiempos por separado, puesto que mediante la simulación, podremos observar la variación existente entre cada uno de ellos al modificar las variables productivas, y a través del estudio más detallado de los resultados generados por ProModel,



Universidad de Cuenca

obtendremos el tiempo “real” que le toma al producto, dentro de ambos sistemas de producción, ser fabricado.



Tabla 3. Cálculo del tiempo necesario para la línea de producción y celda de manufactura en función de las variables productivas

Variables productivas		Cálculo del tiempo necesario por sistema productivo		
Tiempos externos	Línea	Tiempo necesario	Celda	Tiempo necesario
Transporte de materia prima al puesto de trabajo.	Estaciones de trabajo que requieren de materiales externos a la línea.	=Tiempo consumido * Número de transportes * Número de estaciones	* Se abastece a cada celda con el material necesario para el ensamblaje.	=Tiempo consumido * Número de transportes * Número de celdas
Atrasos por falta de materiales.	Paro en la línea o consumo de inventario (buffer o stock de seguridad) por parte de las estaciones siguientes.	=Tiempo de paro o tiempo de consumo de inventario	Paro en la celda carente de materiales o consumo de inventario (buffer o stock de seguridad).	=Tiempo de paro o tiempo de consumo de inventario
Reposición de insumos necesarios para la fabricación.	Materiales y herramientas necesarias para el ensamblaje.	=Tiempo consumido * Número de estaciones	* Materiales y herramientas necesarias para el ensamblaje.	= Tiempo consumido * Número de celdas
Tiempos involucrados en la operación				
Therbligs	Micromovimientos realizados por el operario para concluir su operación asignada.	=Tiempo asignado al micromovimiento * Factor de compensación	Macro y micro movimientos realizados por el operario para concluir su operación asignada.	=Tiempo asignado al micromovimiento * Factor de compensación
Setup	Preparación de la maquinaria.	=Tiempo setup * Número de setups realizados.	Preparación de la maquinaria.	=Tiempo setup * Número de setups realizados.
Suplementos u Holguras	La asignación de holguras para los operarios varía según las estaciones de trabajo.	=Tiempo de la actividad * Factor de compensación	La asignación de holguras para los operarios varía según la actividad realizada en la celda.	=Tiempo de la actividad * Factor de compensación
Lote de fabricación	Tiempo que toma fabricar el lote requerido por la siguiente estación.	=Tiempo de fabricación del lote	Tiempo de fabricación del lote requerido por la siguiente operación.	= Tiempo de fabricación del lote
Cuellos de botella	Tiempo de espera de la siguiente estación al cuello de botella.	=Tiempo de espera al cuello de botella	No aplica.	No aplica.



Universidad de Cuenca

Tiempo de reprocesos	Productos que no pasan el control de calidad o se deterioran por el manejo del mismo.	=Tiempo para reprocesar el producto * Número de reprocesos	Productos que no pasan el control de calidad o se deterioran por el manejo del mismo.	= Tiempo para reprocesar el producto * Número de reprocesos
----------------------	---	--	---	---

Tiempos entre estaciones de trabajo

Transporte de producto terminado entre puestos de trabajo u operaciones	Número de transportes existentes según el número de estaciones de trabajo.	= \sum (Tiempo de transporte entre estaciones * Número de transportes)	Número de transportes existentes según el número de operaciones de la celda.	= \sum (Tiempo de transporte entre operaciones * Número de transportes)
Espera del producto en cola hasta ser ensamblado.	Acumulación de producto en proceso entre las estaciones de trabajo.	= \sum (Tiempo de espera entre estaciones)	Acumulación de producto en proceso entre operaciones de la celda.	= \sum (Tiempo de espera entre operaciones)

Nota: \sum se lee como sumatoria, y varía desde i=1 hasta n número de transportes entre estaciones u operaciones; * simboliza el signo de multiplicación. Fuente: Elaboración propia.



2.2 Implementación de las variables productivas y los tiempos necesarios al entorno de simulación

Partiendo del análisis de la bibliografía observamos que la modelación del sistema productivo toma un papel importante a la hora de seleccionar y modificar las variables para ese sistema, como mencionan Bernal, Sarmiento, & Restrepo (2015), la utilización de distintos softwares para el análisis y control de variables, se vuelve común en el ámbito productivo ya que la simulación ha demostrado ser capaz de hacer frente a las tareas de mejora de productividad y eficiencia en las que estas dificultades se superponen e interactúan. Por lo que para este estudio, se ha seleccionado la modelación mediante ProModel versión estudiante (de libre acceso), debido a lo mencionado por Meyers & Stephens (2006) ya que ayuda a analizar instalaciones existentes, permite modelar una instalación completa de manufactura, se adecua fácilmente a los parámetros que defina el planificador, entre otras. Sin embargo, como menciona Tiago & Covas (2014), es necesario realizar n número de corridas, de manera que los escenarios resultantes permitan corroborar la influencia que tienen las distintas variables productivas en los tiempos de fabricación.

2.2.1 Implementación de las variables productivas a los elementos requeridos por ProModel.

Para el análisis e implementación de las variables en ProModel se ha adaptado la clasificación dada de las variables de una empresa (producto, capacidad y lineamientos de producción) dentro de los elementos que requiere el software para la simulación (eventos, locaciones, recursos, atributos, entidades y variables), como se observa en la Ilustración 1.

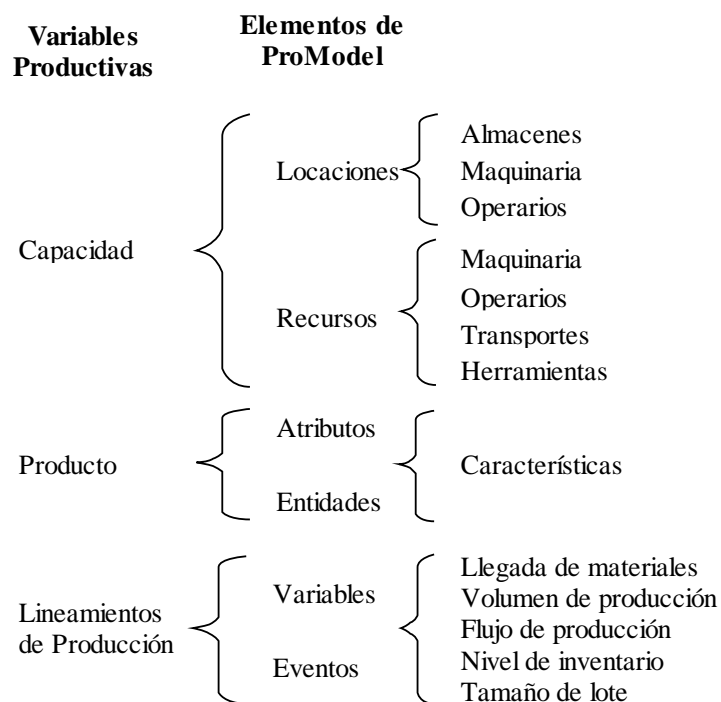


Ilustración 1. Adaptación de las variables productivas a los elementos requeridos por ProModel.



Para las variables de capacidad, los elementos requeridos por ProModel son las locaciones, es decir, las estaciones u operaciones donde se procesan las entidades, y los recursos estáticos o asignados necesarios para llevar a cabo una operación. Para las variables de Producto, los elementos requeridos por ProModel son los atributos, siendo estos, las características del producto a fabricar, y las entidades, siendo estos los elementos a ser procesados en el sistema. Finalmente, los lineamientos de producción de la empresa se verán reflejadas en los eventos y variables de la simulación, dicho en otros términos, las condiciones que modifican el entorno de fabricación. Además, se puede observar que la consideración del entorno interno y externo de fabricación no se incluye en la ilustración 1, esto se debe a la inclusión de la variable dentro de los lineamientos de producción, puesto que si el entorno de fabricación cambia, la empresa será la encargada de dar lineamientos para adaptar la capacidad de la empresa al entorno de fabricación.

2.2.2 Evaluación de los tiempos requeridos para la simulación en ProModel

Para cada sistema productivo sea éste líneas o celdas Kaku et al. (2009), menciona que la asignación de tiempos juega un papel importante en su implementación ya que al buscar un sistema que entregue una mayor productividad (Cantidad de productos obtenidos / Recursos utilizados para obtener dicha producción) se hace énfasis en la mejora del tiempo total throughput y la reducción de las horas de labor totales.

Entonces, si se desea fabricar un producto, se deben considerar todas las variables del sistema que afectan a los tiempos de fabricación, los cuáles mediante una correcta implementación en la simulación, nos entregarán el tiempo total de fabricación del producto dado para cada sistema de producción. Por ello, cada elemento de ProModel requiere de la introducción adecuada de tiempos iniciales para poder realizar las corridas. Es de ello que la Ilustración 2 refleja esta adecuación al entorno de simulación.

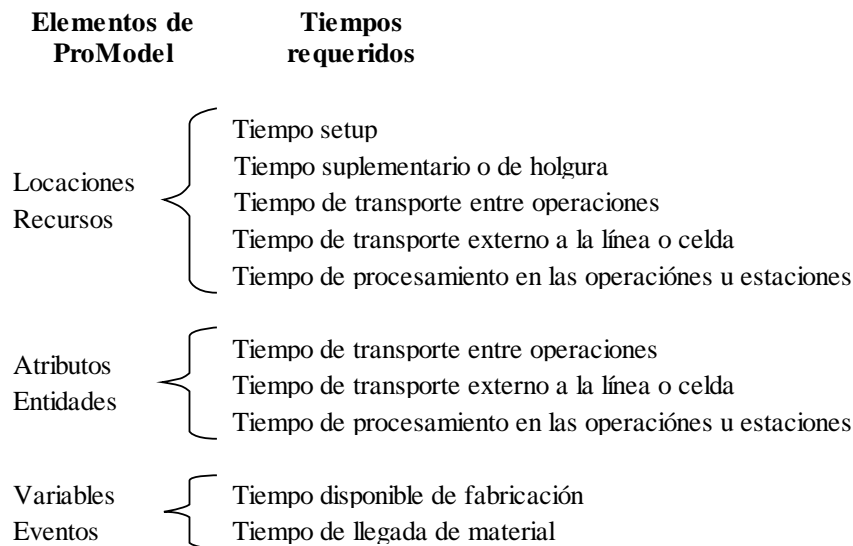


Ilustración 2. Tiempos requeridos por los elementos de ProModel
 Fuente: Elaboración propia

2.3 Selección del modelo de producto para la simulación

Para la selección del modelo de producto se realizó un análisis bibliográfico para elegir un estudio de tiempos con respecto a celda de manufactura y línea de producción que entregue la mayor cantidad de datos posibles que se pueden ingresar al sistema de simulación para su respectivo análisis; el modelo de producto que más se adaptaba a los requerimientos de la simulación fue tomado de Proaño (2011), donde el caso de estudio parte del análisis de una línea de producción, para luego analizar el impacto que tiene el adoptar un sistema híbrido celdas-líneas. Este estudio nos proporciona los datos necesarios en cuanto a las variables productivas y el estudio de tiempos por sistema productivo, para de esta manera, realizar la comparativa en dos de sus productos, siendo estos, el proceso de armado de una camiseta T-shirt y una camiseta Polo. Por otra parte, dado que el enfoque del estudio es la comparativa entre celdas y líneas, partiremos de la línea de producción planteada por Proaño (2011), pero el sistema híbrido celda-línea será adaptado mediante la simulación como un sistema de fabricación en celdas de manufactura. Adicionalmente se partirá de los lineamientos productivos con los que cuenta la empresa para esos productos:

- Producción de prendas por lotes de 1 a 4 como máximo.
- Los materiales necesarios para cada puesto de trabajo se encuentran disponibles dentro del área de armado de las camisetas, puesto que el área de corte es la encargada de suplir el material cuando ésta lo necesite. Además, ya se supone que son materiales de calidad aceptables para empezar a trabajar.
- Cada puesto de trabajo cuenta con una mesa auxiliar para la carga y descarga de material en proceso.



- Mediante una fabricación mixta celda-línea con 5 operarias y en base al estudio de tiempos, se pueden obtener 91 camisetas T-shirt y 43 camisetas Polo por hora.
- La eficiencia de las operarias se considera en un 100%.
- El setup de las máquinas se lo realiza previamente a la fabricación de un producto.
- La jornada de trabajo es de 8 horas.

2.3.1 Camiseta T-shirt

La Ilustración 3 y 4 representan el flujo de fabricación de la camiseta T-shirt en la línea de producción y en la celda de manufactura respectivamente, mientras que la Tabla 4 y 5 representan las variables involucradas en la fabricación de las camisetas T-shirt dentro de la línea de producción y la celda de manufactura respectivamente, es decir, las variables que servirán como entrada al entorno de simulación.

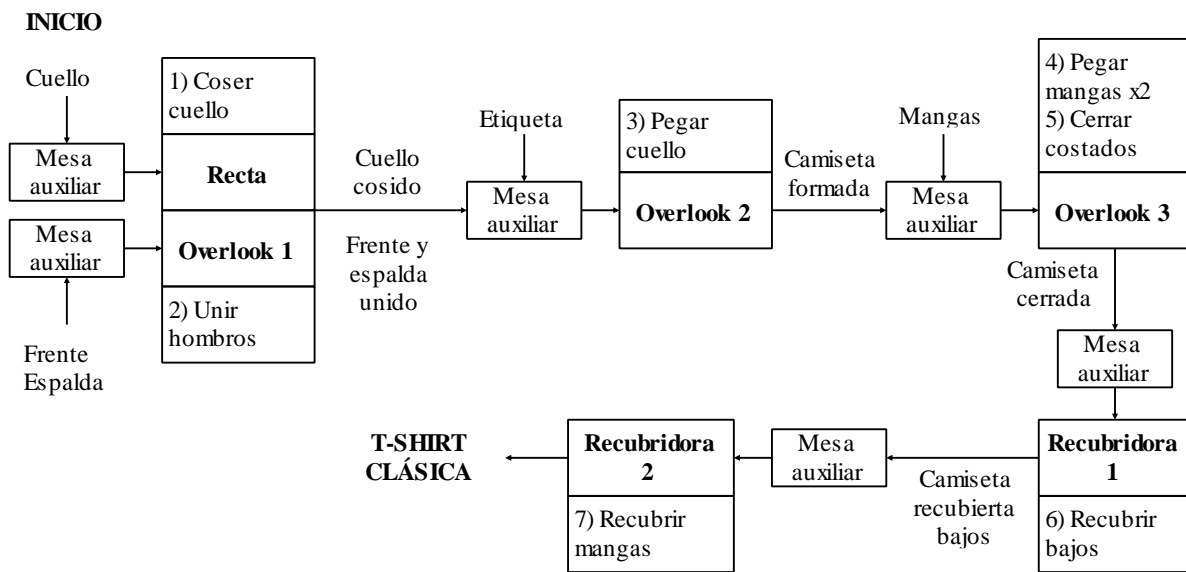


Ilustración 3. Línea de producción de la camiseta T-shirt
Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Variables involucradas en la fabricación de una camiseta T-shirt dentro de la línea de producción

Proceso	Maquinaria	Dependencia entre procesos	Operarios	Tipo de distribución (min)
1. Coser cuello	Recta		Costurera 1	U(0.3367,0.2000)
2. Unir hombros	Overlook 1		Costurera 1	U(0.2346,0.0833)
3. Poner cuello con etiqueta	Overlook 2	1, 2	Costurera 2	U(1.1827,0.3750)



4. Pegar mangas	Overlook 3	2	Costurera 3	U(1.7287,0.4750)
5. Cerrar costados	Overlook 3	2, 4	Costurera 3	
6. Recubrir bajos	Recubridora 1	2, 4, 5	Costurera 4	U(0.8116,0.3083)
7. Recubrir mangas	Recubridora 2	2, 4, 5	Costurera 5	U(0.9200,0.3000)

Nota: U representa la distribución de probabilidades de tipo uniforme, con su respectiva media y su rango. Fuente: elaboración propia.

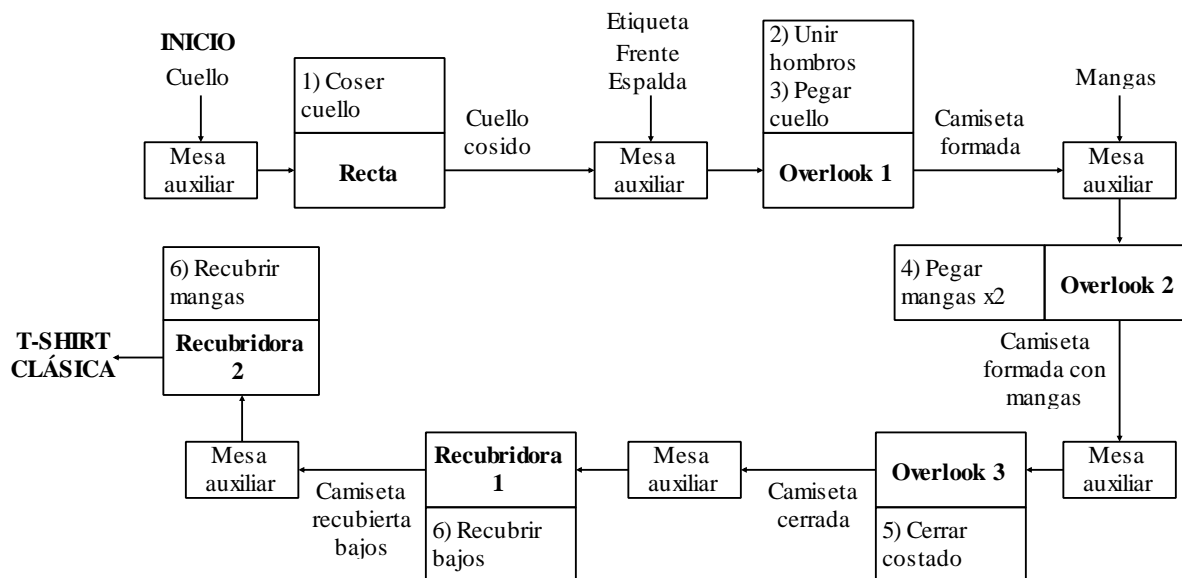


Ilustración 4. Celda de manufactura de la camiseta T-shirt
Fuente: elaboración propia

Tabla 5. Variables involucradas en la fabricación de una camiseta T-shirt dentro de la celda de manufactura

Proceso	Maquinaria	Tipo de distribución (min)
Coser cuello	Recta	U(0.3367,0.2000)
Unir hombros	Overlook 1	U(1.4173,0.4583)
Poner cuello con etiqueta	Overlook 1	
Pegar mangas	Overlook 2	U(0.8493,0.1916)
Cerrar costados	Overlook 3	U(0.8793,0.2833)
Recubrir bajos	Recubridora 1	U(0.8116,0.3083)
Recubrir mangas	Recubridora 2	U(0.9200,0.3000)

Nota: U representa la distribución de probabilidades de tipo uniforme, con su respectiva media y su rango. Fuente: elaboración propia

La distribución de tiempos obtenida para cada proceso de manufactura (celdas y líneas) se lo realizó mediante la consideración de la toma de tiempos de las 5 operarias por proceso que se encuentra en Proaño (2011). Sin embargo, esta muestra no fue representativa para encontrar el tipo de distribución de tiempo que siguen los datos; en estos casos García, García, & Cárdenas (2013), recomiendan conocer la distribución de probabilidades que sigue cada variable en la simulación, mediante el uso del programa *Stat::Fit* herramienta adicional de ProModel que entrega la mejor distribución para representar los datos que se están ingresando al sistema. De esta forma, se obtuvo una distribución uniforme de los datos



para la celda y la línea. Complementario a ello, a causa de que varios procesos consecutivos se realizan en la misma máquina (pegar mangas y cerrar costados dentro de la línea de producción, o unir hombros y poner cuello con etiqueta dentro de la celda de manufactura), se optó por sumar las distribuciones de las dos operaciones para poder incluirlos como un solo proceso dentro de la simulación, puesto que ProModel no realiza la corrida de la entidad si se ingresa dentro de la misma locación en la que fue procesada previamente.

Adicional a la distribución de tiempo de cada proceso, se decidió restar el tiempo de transporte del producto entre estaciones del tiempo de proceso de cada estación para analizarlos por separado, dado que Proaño (2011) consideró estos dos tiempos como el tiempo total de operación de cada estación. El tiempo de traslado entre operaciones se puede observar en la Tabla 6. Además, se puede observar un incremento en el tiempo de traslado para la celda, ya que al ser desplazamientos que involucran todo el cuerpo se adicionó el tiempo de desplazamiento estándar mencionado por Meyers & Stephens (2006), de 0.005 minutos por pie (0.3048 metros) recorrido, considerando una distancia prudente de 0.70 metros desde el puesto de trabajo hacia su respectiva mesa auxiliar.

Tabla 6. Tiempo de transporte entre estaciones u operaciones en la fabricación de la camiseta T-shirt

Proceso	Traslado entre estaciones	Tiempo de traslado Línea (min)	Proceso	Traslado entre operaciones	Tiempo de traslado Celda (min)
Coser cuello	MA.Recta a Recta	0.020	Coser cuello	MA.Recta a Recta	0.020
	Recta a MA.Overlook2	0.010		Recta a MA.Overlook1	0.1248
Unir hombros	MA.Overlook1 a Overlook1	0.062	Unir hombros	MA.Overlook1 a Overlook1	0.2108
	Overlook1 a MA.Overlook2	0.020	Poner cuello con etiqueta	Overlook1 a MA.Overlook2	0.1398
Poner cuello con etiqueta	MA.Overlook2 a Overlook2	0.034	Pegar mangas	MA.Overlook2 a Overlook2	0.1488
	Overlook2 a MA.Overlook3	0.025		Overlook2 a MA.Overlook3	0.1398
Pegar mangas	MA.Overlook3 a Overlook3	0.068	Cerrar costados	MA.Overlook3 a Overlook3	0.1488
	Overlook3 a MA.Recubridora1	0.025		Overlook3 a MA.Recubridora1	0.1348
Recubrir bajos	MA.Recubridora1 a Recubridora1	0.020	Recubrir bajos	MA.Recubridora1 a Recubridora1	0.1348
	Recubridora1 a MA.Recubridora2	0.010		Recubridora1 a MA.Recubridora2	0.1248



Recubrir mangas	MA.Recubridora2 a Recubridora2	0.020	Recubrir mangas	MA.Recubridora2 a Recubridora2	0.1348
-----------------	--------------------------------	-------	-----------------	--------------------------------	--------

Nota: MA es usada como abreviación de mesa auxiliar en la presente investigación. Fuente: elaboración propia.

Partiendo de esta clasificación de variables para la celda de manufactura y línea de producción, se llevó a cabo la introducción de las mismas en ProModel, asignando cada variable a los elementos requeridos por la simulación como se observó en la Ilustración 1. Como puntos adicionales, en cuanto a la asignación de arribos que tendrá el producto al sistema, se ha considerado el ingreso del material de acuerdo al número esperado de unidades por hora declarado por Proaño (2011), es decir, la llegada del material a las estaciones que requieran del mismo será de 90 unidades por hora, y en cuanto a la capacidad que tendrán las mesas auxiliares antes de cada operación, tomando en cuenta el espacio cúbico disponible para el almacenamiento, el tipo de material que ingresa a cada una de ellas y la disponibilidad que debe tener para el almacenaje de arribos, se optó por colocar una capacidad de 45 unidades multiplicado por el número de entradas de materiales externos que tenga la mesa auxiliar. Finalmente, como menciona García et al. (2013), al momento de iniciar la simulación, las variables pueden presentar dos estados diferentes, uno transitorio y otro estable, donde el primero se presenta al inicio de la simulación ocasionando una amplia variación entre los valores promedio de las variables de decisión del modelo, mientras que en el segundo las variables de decisión presentan variaciones poco significativas y las decisiones que se tomen serán mucho más confiables, por lo tanto, es necesario dar un espacio de tiempo para que el modelo se estabilice (estado estable), siendo este de tres horas para la fabricación de la camiseta T-shirt en la línea de producción y en la celda de manufactura. Además, según argumenta Tiago & Covas (2014), “normalmente, cuando se ejecutan escenarios específicos, solo se cambian las propiedades individuales de los objetos, por lo que resulta irrelevante observar la animación, ya que a los ojos del usuario no habrá una diferencia significativa. En cambio, el enfoque debería ser replicar cada escenario para encontrar las diferencias subyacentes en el sistema y alcanzar conclusiones estadísticamente válidas al modelo”. Según estas dos consideraciones, el estado estable y el número de réplicas, son necesarias para que el sistema entregue resultados confiables para el análisis de los sistemas productivos. Para ello, alcanzar un estado estable se ve reflejado en ProModel mediante la asignación de un tiempo de estabilización o periodo de calentamiento (*warm-up*), analizando cómo varía la variable de interés (tiempo en operación promedio), durante una corrida previa de la simulación, mientras que para obtener el número de réplicas necesarias, partiremos de la ecuación (1) de García et al. (2013), donde n es el número de corridas a realizar, s es la desviación estándar, ϵ es el error, $t_{\alpha/2, n'-1}$ es el valor de la probabilidad para un nivel de confianza dado y n' es el número de corridas previas para



obtener la desviación estándar de la variable de interés. Lo cual nos permitirá obtener datos estadísticamente válidos de los tiempos de fabricación.

$$n = \left(\frac{s}{\epsilon} (t_{\alpha/2, n'-1}) \right)^2 \tag{1}$$

Una vez analizados los puntos anteriores, para la línea de producción, con un periodo de calentamiento (*warm-up*) de 3 horas y con $s = 0.01$, $\epsilon = \pm 0.02$, $n' = 20$ y un nivel de confianza del 95% se obtuvo un valor de réplicas de 1.09 puesto que la desviación estándar de la variable de interés es insignificante. Por otra parte, para la celda de manufactura, con un periodo de calentamiento de 3 horas y con $s = 0.02$, $\epsilon = \pm 0.03$, $n' = 20$ y un nivel de confianza del 95% se obtuvo un valor de réplicas de 1.95 por la misma razón que la línea.

2.3.2 Camiseta Polo

Tomando en consideración los mismos lineamientos que se siguieron para la obtención de las distribuciones en la fabricación de la camiseta T-shirt, las Ilustraciones 5 y 6 representan el flujo de fabricación de la camiseta Polo en la línea de producción y celda de manufactura respectivamente, mientras que las Tablas 7 y 8 representan las variables involucradas en la fabricación de las camiseta Polo dentro de la línea de producción y la celda de manufactura respectivamente; de la misma manera, en la Tabla 9 podemos observar el tiempo de transporte entre estaciones para la camiseta Polo. Complementariamente, la asignación de arribos cambió a 38 unidades por hora y media para la línea y 36 unidades cada 4 horas para la celda a causa de que el número de unidades esperadas por hora según Proaño (2011) ocasionaba que el sistema se sature con unidades en proceso y no permita la entrada de más arribos, por lo tanto, la capacidad de las mesas auxiliares cambió a 38 y 36 unidades base multiplicado por el número de entradas de material externo que tenga la mesa auxiliar para la línea y celda respectivamente.

Tabla 7. Variables involucradas en la fabricación de una camiseta Polo dentro de la línea de producción

Proceso	Maquinaria	Dependencia entre procesos	Operarios	Tipo de Distribución (min)
1. Pegar piezas de vincha a delantero	Recta 1		Costurera 1	U(0.3880,0.1600)
2. Unir hombros	Overlook 1		Costurera 2	U(0.4297,0.2750)
3. Pegar cuello	Overlook 2	1	Costurera 3	U(0.4297,0.2750)
4. Pegar reata con etiqueta en cuello	Recta 1	1, 3	Costurera 1	U(0.9950,0.5500)
5. Pespuntar vincha	Recta 2	1, 3, 4	Costurera 4	U(1.0750,0.6300)
6. Pegar puño a manga x2	Overlook 1		Costurera 2	U(0.7320,0.2900)



7. Pegar mangas x2	Overlook 2	2	Costurera 3	U(0.4477,0.2850)
8. Pespuntar mangas x2	Recta 2	2, 7	Costurera 4	U(0.3510,0.1450)
9. Cerrar costados	Overlook 1	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8,	Costurera 2	U(0.7660,0.2900)
10. Recubrir bajos	Recubridora	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9	Costurera 5	U(0.5710,0.4150)
11. Ojalado x2	Ojaladora	1, 3, 4, 5	Costurera 5	U(0.6710,0.5950)
12. Pegar botones x2	ZigZag	1, 3, 4, 5, 11	Costurera 5	U(0.2510,0.0450)

Nota: U representa la distribución de probabilidades de tipo uniforme, con su respectiva media y su rango. Fuente: elaboración propia.

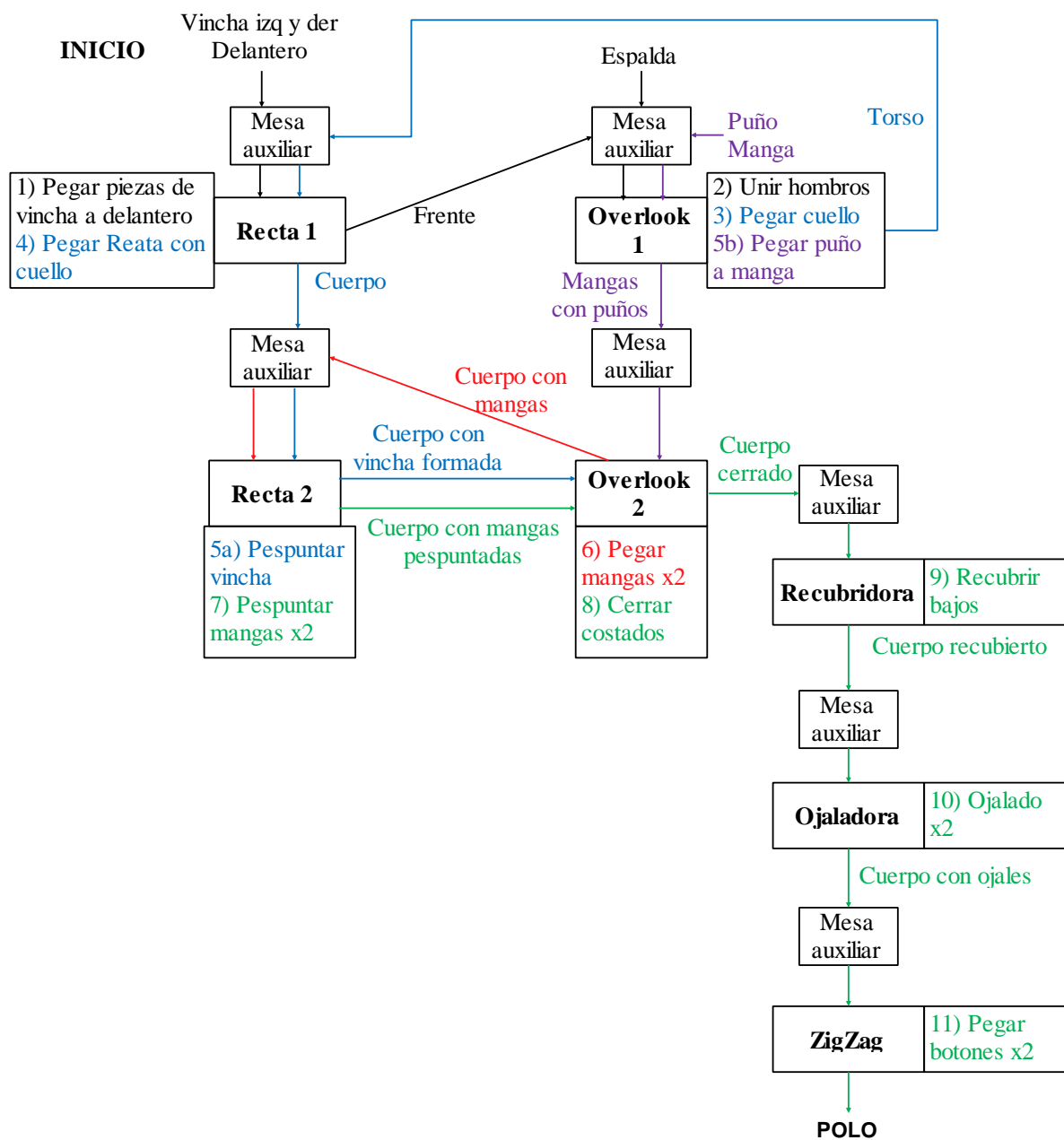


Ilustración 5. Línea de producción de la camiseta Polo



Nota: El número de unidades de procesos en el flujo se cambió a 11 para que se aprecie de mejor manera que las actividades 5 y 6 se pueden realizar simultáneamente, denominándose 5a y 5b respectivamente.
 Fuente: elaboración propia

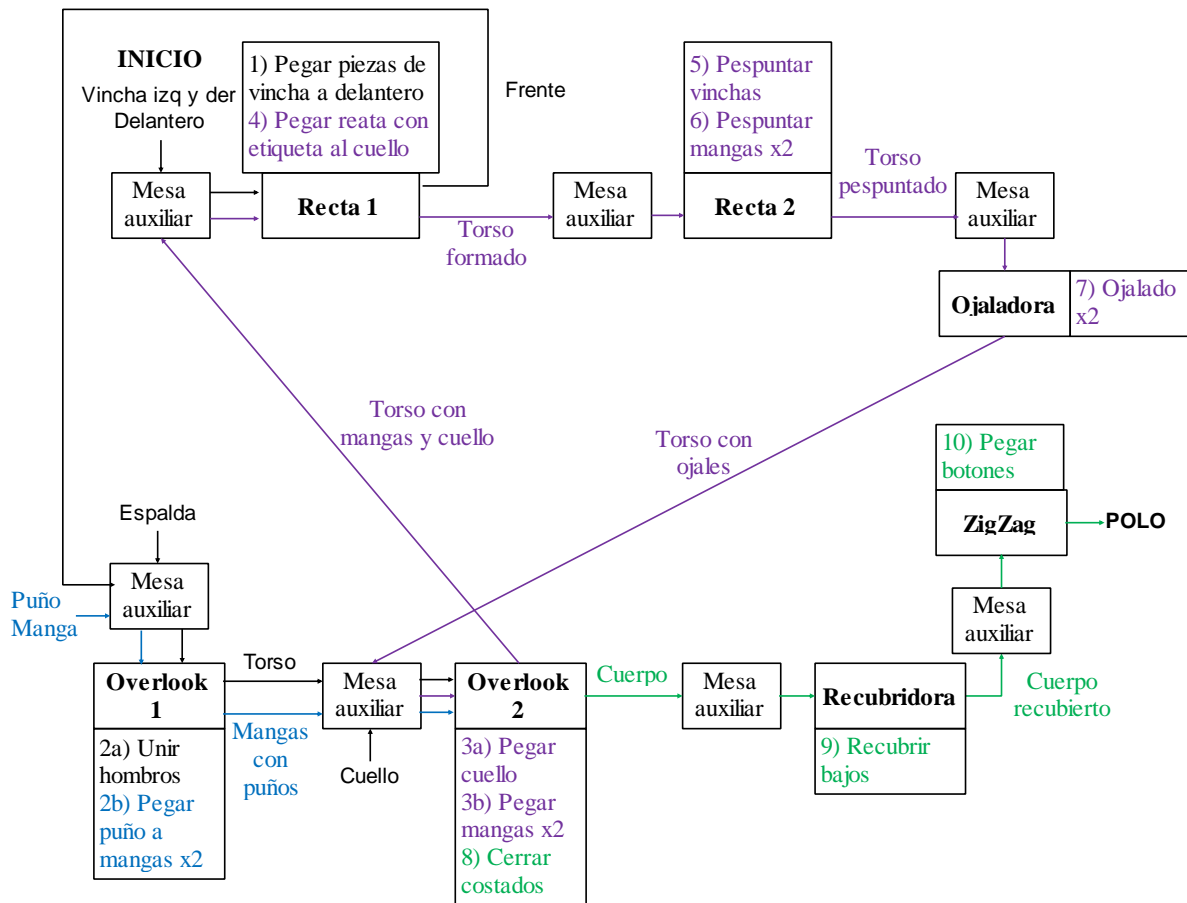


Ilustración 6. Celda de manufactura de la camiseta Polo

Nota: El número de unidades de procesos en el flujo se cambió a 10 puesto que las actividades 2a y 2b, y las actividades 3a y 3b se pueden realizar simultáneamente.
 Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Variables involucradas en la fabricación de una camiseta Polo dentro de la celda de manufactura

Proceso	Maquinaria	Tipo de Distribución (min)
Pegar piezas de vincha a delantero	Recta 1	U(0.3880,0.1600)
Pegar puño a manga x2	Overlook 1	U(0.7320,0.2900)
Unir hombros	Overlook 1	U(0.4297,0.2750)
Pegar cuello	Overlook 2	U(0.4297,0.2750)
Pegar mangas x2	Overlook 2	U(0.4477,0.2850)
Pegar reata con etiqueta en cuello	Recta 1	U(0.9950,0.5500)
Pespuntar vincha	Recta 2	U(1.4210,0.7700)
Pespuntar mangas x2	Recta 2	U(1.4210,0.7700)



Ojalado x2	Ojaladora	U(0.6710,0.5950)
Cerrar costados	Overlook 2	U(0.7660,0.2900)
Recubrir bajos	Recubridora	U(0.5710,0.4150)
Pegar botones x2	ZigZag	U(0.2510,0.0450)

Nota: U representa la distribución de probabilidades de tipo uniforme, con su respectiva media y su rango. Fuente: elaboración propia

Tabla 9. Tiempo de transporte entre estaciones u operaciones en la fabricación de la camiseta Polo

Línea de producción			Celda de manufactura		
Proceso	Traslado entre estaciones	Tiempo de transporte (min)	Proceso	Traslado entre operaciones	Tiempo de transporte (min)
Pegar piezas de vincha a delantero	MA.Recta1 a Recta1	0.062	Pegar piezas de vincha a delantero	MA.Recta1 a Recta1	0.062
	MA.Overlook1	0.020		MA.Overlook1	0.1348
	MA.Overlook1 a Overlook1			MA.Overlook1	
Unir hombros	MA.Overlook1 a Overlook1	0.062	Pegar puño a manga x2	MA.Overlook1 a Overlook1	0.1828
	Overlook1 a MA.Overlook2	0.020		Overlook1 a MA.Overlook2	0.1348
	MA.Overlook2 a Overlook2			MA.Overlook2 a Overlook1	
Pegar cuello	MA.Overlook2 a Overlook2	0.062	Unir hombros	MA.Overlook1 a Overlook1	0.2388
	Overlook2 a MA.Recta1	0.020		Overlook1 a MA.Overlook2	0.1348
	MA.Recta1 a Recta1			MA.Overlook2 a Overlook2	
Pegar reata con etiqueta en cuello	MA.Recta1 a Recta1	0.025	Pegar cuello	MA.Overlook2 a Overlook2	0.1688
	Recta1 a MA.Recta2	0.020		Overlook2 a MA.Recta1	0.1348
	MA.Recta2 a Recta2			MA.Recta1 a Recta1	
Pespuntar vincha	MA.Recta2 a Recta2	0.025	Pegar reata con etiqueta en cuello	MA.Recta1 a Recta1	0.1398
	Recta2 a MA.Overlook2	0.020		Recta1 a MA.Recta2	0.1348
	MA.Overlook2 a Overlook1			MA.Recta2 a Recta2	
Pegar puño a manga x2	MA.Overlook1 a Overlook1	0.068	Pespuntar vincha	MA.Recta2 a Recta2	0.1738
	Overlook1 a MA.Overlook2	0.020		Recta2 a MA.Ojaladora	0.1348
	MA.Overlook2 a Overlook2			MA.Ojaladora a Ojaladora	
Pegar mangas x2	MA.Overlook2 a Overlook2	0.054	Ojalado x2	MA.Ojaladora a Ojaladora	0.1488
	Overlook2 a MA.Recta2	0.020		Ojaladora a MA.Overlook2	0.1348
	MA.Recta2 a Recta2			MA.Overlook2 a Overlook2	
Pespuntar mangas x2	MA.Recta2 a Recta2	0.034	Cerrar costados	MA.Overlook2 a Overlook2	0.1488
	Recta2 a MA.Overlook1	0.200		Overlook2 a MA.Recubridora	0.1348
	MA.Overlook1 a Overlook1			MA.Recubridora a Recubridora	
Cerrar costados	MA.Overlook1 a Overlook1	0.034	Recubrir bajos	MA.Recubridora a Recubridora	0.1488
	Overlook1 a MA.Recubridora	0.020		Recubridora a MA.Zigzag	0.1348
	MA.Recubridora a Recubridora			MA.Zigzag a Zigzag	
Recubrir bajos	MA.Recubridora a Recubridora	0.034	Pegar botones x2	MA.Zigzag a Zigzag	0.1488



Universidad de Cuenca

	Recubridora a MA.Ojaladora	0.020
Ojalado x2	MA.Ojaladora a Ojaladora	0.034
	Ojaladora a MA.Zigzag	0.020
Pegar botones x2	MA.Zigzag a Zigzag	0.034

Nota: MA es usada como abreviación de mesa auxiliar en la presente investigación. Fuente: elaboración propia.

Al introducir las variables al entorno de simulación se realizaron las corridas previas para estimar el periodo de calentamiento (*warm-up*), siendo este de una hora para la línea de producción y de 2.16 horas para la celda de manufactura; consecutivamente se estimó el número de corridas mediante la ecuación (1), dando como resultado para la línea de producción con $s = 0.03$, $\epsilon = \pm 0.05$, $n' = 20$ y un nivel de confianza del 95%, un total de 1.57 réplicas, y por otro lado, para la celda de manufactura con $s = 0.02$, $\epsilon = \pm 0.055$, $n' = 20$ y un nivel de confianza del 95% se generaron 0.6 réplicas.

3. Resultados y Discusión

3.1 Introducción de variables productivas y tiempos a ProModel

Para la obtención de los resultados conforme a lo mostrado en la Tabla 3, se establecieron límites y restricciones con respecto a las consideraciones y las variables productivas que se obtuvieron y generaron a partir del estudio realizado por Proaño (2011), de esta manera, las variables productivas que afectan a la categoría de tiempos de fabricación se vio reducida a siete. Partiendo de estas variables, se estableció en ProModel cuáles de ellas afectarán directamente los tiempos de fabricación, y cómo serán consideradas dentro de la simulación para la obtención de los resultados, tanto para la celda como para la línea, mismas que se pueden apreciar en la Tabla 10.

Tabla 10. Cálculo de los tiempos totales según la clasificación de variables productivas - tiempos de fabricación

Tiempos de fabricación	Variables productivas	Cálculo del tiempo total
Tiempo externo a las estaciones de trabajo	Distancia externa a las estaciones. Arribos.	$Tiempo\ externo\ total = \sum_{i=1}^n TEMC_i / UMA_i$
Tiempo de transporte entre las estaciones de trabajo u operaciones	Número de unidades procesadas Número de operarios. Tamaño de lote. Distancia entre estaciones. WIP.	$Tiempo\ transporte\ total = \sum_{i=1}^n [TTMA_i + (TTMC_i * WIP_i)]$



Tiempo involucrado en la realización de la operación Número de unidades procesadas
 Número de operarios.
 Tamaño de lote.

$$Tiempo\ operación\ total = \sum_{i=1}^n TOMS_i - TOME_i$$

TEMC, Tiempo Externo a la Máquina de Costura; UMA, número de Unidades en la Mesa Auxiliar; TTMA, Tiempo de Transporte a la Mesa Auxiliar; TTMC, Tiempo de Transporte a la Máquina de Costura; WIP, Inventario en Proceso; TOME, Tiempo de Operación de la Máquina de costura a la Entrada, TOMS; Tiempo de Operación de la Máquina de costura a la Salida. La sumatoria varía desde 1 hasta n número de máquinas presentes en el sistema productivo que se está simulando. Fuente: elaboración propia.

Tabla 11. Asignación de las variables productivas en ProModel

Tiempos	Variables	Camiseta T-shirt		Camiseta Polo	
		Línea	Celda	Línea	Celda
Tiempo externo a las estaciones o celdas	Arribos	Para cuello y frente y espalda	Para Camiseta T-shirt	Frente Mangas y puños	Frente y vincha, Mangas y puños
	Distancia externa a las estaciones	MA.Recta a Recta MAOverlook1 a Overlook1	MA.Recta a Recta	MARecta1 a Recta1 MAOverlook1 a Overlook1	MARecta1 a Recta1 MAOverlook1 a Overlook1
	Número de unidades procesadas	Overlook2	Overlook1	Overlook1 y 2	Overlook2
Tiempo de transporte entre estaciones de trabajo u operaciones	Número de operarios	No aplica	Costurera1 y Costurera2	No aplica	Costurera 3
	Tamaño de lote	MAOverlook2	MAOverlook1	MAOverlook2 para las 3 entradas	MAOverlook2 para las 3 entradas
	Distancia entre estaciones	Entre todos los procesos	Entre todos los procesos y rutas	Entre todos los procesos	Entre todas los procesos y rutas
	WIP	MAOverlook2	MAOverlook1	MAOverlook1 y MAOverlook2	MAOverlook2

Nota: MA es usada como abreviación de mesa auxiliar en la presente investigación. Fuente: elaboración propia.

Las variables que afectan a los tiempos de fabricación fueron asignadas a los puntos críticos de acuerdo al producto y al tipo de sistema productivo según la Tabla 11. Además, no se encuentran las asignaciones para el tiempo involucrado en la operación debido a que las variables que afectan a este tiempo forman parte de las que afectan al tiempo de transporte por lo que la asignación de las mismas para los sistemas productivos va a ser igual dentro de la simulación. También se observa que la variación del número de operarios tiene designación “no aplica” en la tabla, esto se debe a la consideración de que para la línea de producción cada operario tiene su puesto específico de trabajo y optar con la inclusión de un nuevo operario daría como resultado la agregación o desagregación de nuevas o existentes operaciones para la línea, caso que no se considera para los modelos de producto.



3.2 Generación de resultados mediante ProModel

Los modelos de simulación se corrieron durante una semana laboral (40 horas) más la adición del periodo de calentamiento (*warm-up*) según corresponda, tres horas para la fabricación de la camiseta T-shirt tanto en la línea de producción como en la celda de manufactura y para la fabricación de la camiseta Polo una hora para la línea de producción y tres horas para la celda de manufactura; las ilustraciones 7 a 10 indican el entorno de simulación de cada sistema productivo en la fabricación de los dos productos considerados, mismas que constan con una tabla de tiempos de fabricación para observar el valor que tiene cada uno durante todo el proceso de simulación.

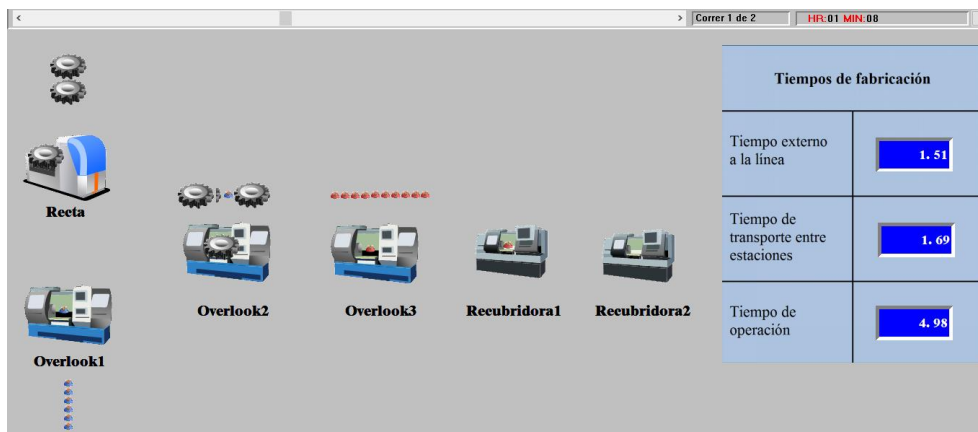


Ilustración 7. Entorno de simulación para la fabricación de la camiseta T-shirt en la línea de producción
Fuente: elaborado mediante ProModel versión estudiante.

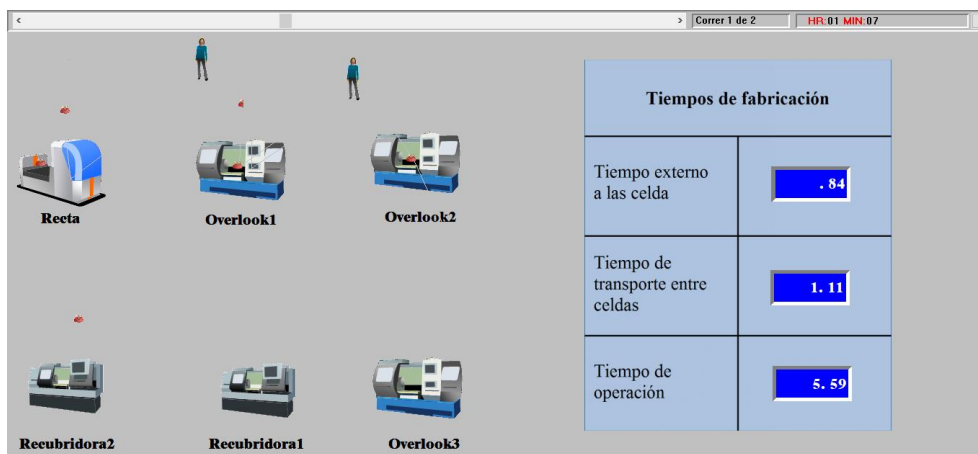


Ilustración 8. Entorno de simulación para la fabricación de la camiseta T-shirt en la celda de manufactura
Fuente: elaborado mediante ProModel versión estudiante.

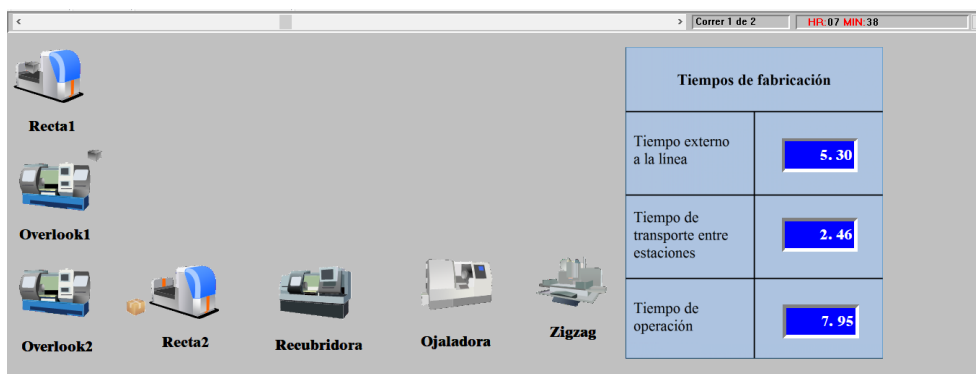


Ilustración 9. Entorno de simulación para la fabricación de la camiseta Polo en la línea de producción
 Fuente: elaborado mediante ProModel versión estudiante.

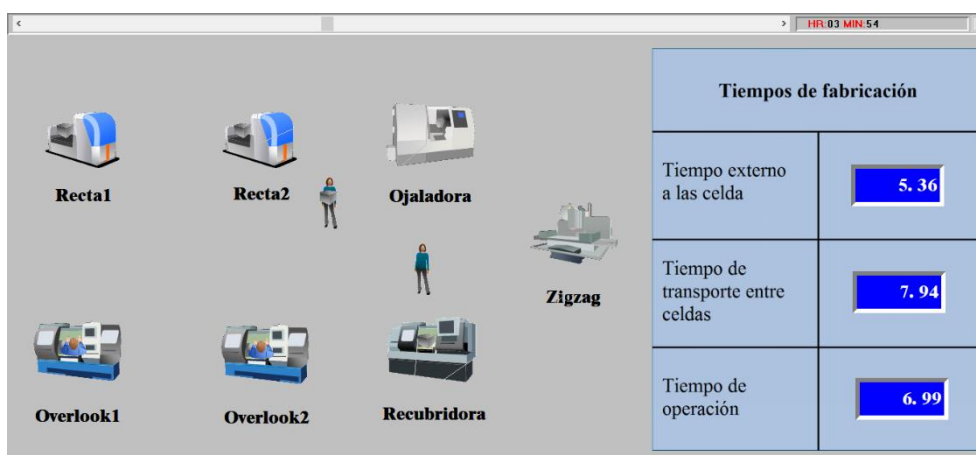


Ilustración 10. Entorno de simulación para la fabricación de la camiseta Polo en la celda de manufactura
 Fuente: elaborado mediante ProModel versión estudiante.

Para modificar la simulación y encontrar los escenarios óptimos en función del objetivo de la investigación, se utilizó SimRunner (herramienta adicional de ProModel) que como menciona García et al. (2013), esta herramienta permite evaluar las posibles soluciones de optimización de las medidas de rendimiento de interés al alterar los factores o variables que afectan a estas medidas, mediante el uso de algoritmos evolutivos, diseñados para hallar el o los valores óptimos de las medidas de rendimiento. Las variables mencionadas en la Tabla 10 fueron alteradas mediante SimRunner para formar los distintos escenarios. Sin embargo, dado que el propósito de esta investigación es comparar cómo diferentes variables productivas afectan a los tiempos de fabricación, tanto para celda de manufactura como línea de producción, se optó por seleccionar los cambios en las variables que mejor representen esos resultados y no colocar una serie de resultados extensos de acuerdo a las posibles combinaciones que se pueden realizar con las siete variables productivas seleccionadas (Tabla 10), dado que por ejemplo, si incrementar el valor de una variable afecta a uno de los sistemas productivos de manera negativa, seguir incrementando su valor podría seguir afectándolo de manera negativa y los resultados serían redundantes, debido esto a la naturaleza proporcional que tienen las variables a analizar. En consecuencia a ello, se optó por seleccionar un muestreo estratificado por conveniencia de tipo no



Universidad de Cuenca

aleatorio para dividir al conjunto de resultados entregados por ProModel en función de las combinaciones que mejor expresen los cambios en los tiempos de fabricación, según las variables productivas que se encuentran dentro de los mismo, como es mencionado por Otzen & Manterola (2017).

De las consideraciones planteadas, se establecieron 26 escenarios por producto y por sistema productivo que entregan una mayor percepción de la influencia que tienen las variables productivas en los tiempos de fabricación (Tabla 12 a 15), siendo representadas por una escala visual la cual identifica de qué manera fue afectada la variable (Ilustración 11).





Escala de color	Significado
	Disminuyó su valor
	Aumentó su valor
	Aumentó ligeramente su valor
	Se mantuvo igual

Ilustración 11. Escala de colores para el cambio de las variables productivas.
Fuente: elaboración propia

Además, para el caso de las variables: distancia externa a las estaciones y distancia entre estaciones u operaciones, la condición inicial está marcada como “Según Proaño”; esta asignación se debe a que la distancia externa y la distancia entre estaciones de cada máquina hacia su respectiva mesa auxiliar es diferente, y por lo tanto, se tendrían que poner los valores de cada transporte más no solo uno como es el caso de las demás variables; razón por la cual se decidió también asignar el símbolo de multiplicación a los escenarios de estas dos variables, con la intención de señalar que cada uno de los transportes está siendo multiplicado por el factor expuesto.

Por otra parte, la variable número de operarios en los escenarios propuestos dentro de la línea de producción se mantendrá igual en todos (casillero blanco), puesto que en una línea de producción, los operarios tienen tareas específicas que realizar y la integración de más personal provocaría la segregación de las operaciones y, por lo tanto, un nuevo estudio de tiempos para esos nuevos conjuntos de operaciones. Por lo que para la línea de fabricación en ambos productos, los escenarios 10, 16, 22 y 26 quedarán sin alteración. En cambio para la celda de manufactura se consideró la inclusión de nuevos operarios dentro de una misma celda para ver como esto afectaba a la misma, y la simulación era la encargada de segregar las operaciones según el estado de cada operario (libre u ocupado).



Tabla 12. Generación de los escenarios en la línea de producción para la fabricación de la camiseta T-shirt mediante la alteración de las variables productivas en ProModel

Variables productivas	Condición inicial del sistema	Escenarios de la línea de producción en la fabricación de la camiseta T-shirt																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Distancia externa a las estaciones	Según Proaño	x2	X2		x0.5	x0.5													
Arribos (min)	30	60		60	15		15												
Tiempo externo (min)	2.997	3.180	3.000	3.179	2.950	3.010	2.940												
Tiempo de transporte (min)	4.670	4.550	4.680	4.550	4.680	4.670	4.670												
Tiempo de operación (min)	5.349	5.320	5.300	5.370	5.380	5.370	5.350												
Número de unidades procesadas	1	4	4										4	2					
Tamaño del lote	1	4		4									4		2				
Número de operarios	5																		
Distancia entre estaciones	Según Proaño	x2								x2			x0.5						x0.5
WIP	90	135										135	45						45
Tiempo de transporte (min)	4.670	10.860	4.710	4.670	4.670	9.350	5.450	1.960	4.710	4.670	4.670	2.340	3.930						
Tiempo externo (min)	2.997	2.990	2.970	2.997	2.997	3.100	2.900	3.050	2.990	2.997	2.997	2.950	3.100						
Tiempo de operación (min)	5.349	5.290	5.300	5.349	5.349	5.330	5.340	5.320	5.299	5.349	5.349	5.360	5.340						
Número de unidades procesadas	1	4	4				2	2											
Tamaño del lote	1	4		4			2		2										
Número de operarios	5																		
Tiempo de operación (min)	5.349	5.308	4.710	5.349	5.349	5.309	5.299	5.349	5.349										
Tiempo externo (min)	2.997	3.000	2.970	2.997	2.997	3.000	2.990	2.997	2.997										
Tiempo de transporte (min)	4.670	4.710	5.300	4.670	4.670	4.710	4.710	4.670	4.670										

Nota: la x indica que la variable fue multiplicada por el valor expuesto; esta declaración está dada por la implicación de que varios datos son multiplicados por ese factor. Fuente: elaboración propia.



Tabla 13. Generación de los escenarios en la celda de manufactura para la fabricación de la camiseta T-shirt mediante la alteración de las variables productivas en ProModel

Variables productivas	Condición inicial del sistema	Escenarios de la celda de manufactura en la fabricación de la camiseta T-shirt																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Distancia externa a las estaciones	Según Proaño	x2	x2		x0.5	x0.5													
Arribos (min)	30	60		60	15		15												
Tiempo externo (min)	5.590	5.790	5.620	5.760	5.550	5.560	5.510												
Tiempo de transporte (min)	12.770	12.750	12.710	12.670	12.850	12.810	12.650												
Tiempo de operación (min)	5.240	5.230	5.230	5.230	5.220	5.220	5.230												
Número de unidades procesadas	1	4	4										4	2					
Tamaño del lote	1	4		4									4		2				
Número de operarios	5	8			8								6			6			
Distancia entre operaciones	Según Proaño	x2					x2						x0.5					x0.5	
WIP	90	135										135	45						45
Tiempo de transporte (min)	12.770	11.160	11.980	12.770	6.740	23.360	12.750	4.060	9.990	12.770	7.890	7.930	13.420						
Tiempo externo (min)	5.590	4.540	4.700	5.630	2.710	8.200	5.590	1.900	4.820	5.610	3.420	3.300	5.640						
Tiempo de operación (min)	5.240	5.230	5.210	5.240	5.190	5.240	5.240	5.060	5.200	5.240	5.210	5.190	5.230						
Número de unidades procesadas	1	4	4				2	2											
Tamaño del lote	1	4		4			2		2										
Número de operarios	5	8			8	6							6						
Tiempo de operación (min)	5.240	5.140	11.980	12.770	6.740	8.220	9.990	12.770	7.890										
Tiempo externo (min)	5.590	2.420	4.700	5.630	2.710	3.640	4.820	5.610	3.420										
Tiempo de transporte (min)	12.770	5.680	5.210	5.240	5.190	5.180	5.200	5.240	5.210										

Nota: la x indica que la variable fue multiplicada por el valor expuesto; esta declaración está dada por la implicación de que varios datos son multiplicados por ese factor. Fuente: elaboración propia.



Tabla 14. Generación de los escenarios en la línea de producción para la fabricación de la camiseta Polo mediante la alteración de las variables productivas en ProModel

Variables productivas	Condición inicial del sistema	Escenarios de la línea de producción en la fabricación de la camiseta Polo											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Distancia externa a las estaciones	Según Proaño	x2	x2		x0.5	x0.5							
Arribos (min)	90	180		180	45		45						
Tiempo externo (min)	4.710	8.968	4.741	8.963	4.120	4.683	4.016						
Tiempo de transporte (min)	3.180	0.360	3.390	0.360	7.370	3.010	7.260						
Tiempo de operación (min)	9.369	9.150	9.650	9.310	9.380	8.960	8.780						
Número de unidades procesadas	1	4	4					2	2				
Tamaño del lote	1	4		4				2		2			
Número de operarios	5												
Distancia entre estaciones	Según Proaño	x2				x2		x0.5				x0.5	
WIP	114	152					152	76					76
Tiempo de transporte (min)	3.180	1.719	0.800	3.180	3.180	7.260	3.490	0.500	0.800	3.180	3.180	1.530	1.430
Tiempo externo (min)	4.710	4.690	4.670	4.710	4.710	4.740	4.710	4.670	4.670	4.710	4.710	4.690	4.820
Tiempo de operación (min)	9.370	15.610	12.480	9.369	9.369	9.130	9.420	11.390	12.480	9.369	9.369	9.180	9.450
Número de unidades procesadas	1	4	4			2	2						
Tamaño del lote	1	4		4		2		2					
Número de operarios	5												
Tiempo de operación (min)	9.369	15.940	12.480	9.369	9.370	11.410	12.480	9.369	9.370				
Tiempo externo (min)	4.710	4.690	4.670	4.710	4.710	4.670	4.670	4.710	4.710				
Tiempo de transporte (min)	3.180	0.820	0.800	3.180	3.180	0.970	0.800	3.180	3.180				

Nota: la x indica que la variable fue multiplicada por el valor expuesto; esta declaración está dada por la implicación de que varios datos son multiplicados por ese factor. Fuente: elaboración propia.



Tabla 15. Generación de los escenarios en la celda de manufactura para la fabricación de la camiseta Polo mediante la alteración de las variables productivas en ProModel

Variables productivas	Condición inicial del sistema	Escenarios de la celda de manufactura en la fabricación de la camiseta Polo											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Distancia externa a las estaciones	Según Proaño	x2	x2		x0.5	x0.5							
Arribos (min)	240	480		480	120		120						
Tiempo externo (min)	13.97	23.100	13.870	23.000	11.100	13.810	11.070						
Tiempo de transporte (min)	14.320	5.020	13.710	5.040	15.760	13.230	16.140						
Tiempo de operación (min)	7.130	5.780	6.850	6.140	7.370	7.030	6.660						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Número de unidades procesadas	1	4	4					2	2				
Tamaño del lote	5	4		4				2		2			
Número de operarios	5	8			8			6			6		
Distancia entre operaciones	Según Proaño	x2				x2		x0.5				x0.5	
WIP	108	144					144	72					72
Tiempo de transporte (min)	14.320	14.370	17.880	14.320	2.320	25.350	14.320	3.230	16.840	14.320	3.360	2.630	14.970
Tiempo externo (min)	13.97	12.960	13.710	13.970	12.960	16.410	13.970	12.940	13.760	13.970	13.030	12.960	13.850
Tiempo de operación (min)	7.130	7.190	7.420	7.130	7.110	6.830	7.130	7.160	7.420	7.130	7.170	6.990	7.200
		1	2	3	4	5	6	7	8				
Número de unidades procesadas	1	4	4			2	2						
Tamaño del lote	5	4		4		2		2					
Número de operarios	5	8			8	6			6				
Tiempo de operación (min)	7.130	7.390	7.420	7.130	7.110	6.750	7.420	7.130	7.170				
Tiempo externo (min)	13.97	12.980	13.710	13.970	12.960	13.010	13.760	13.970	13.030				
Tiempo de transporte (min)	14.320	5.700	17.880	14.320	2.320	7.100	16.840	14.320	3.360				

Nota: la x indica que la variable fue multiplicada por el valor expuesto; esta declaración está dada por la implicación de que varios datos son multiplicados por ese factor. Fuente: elaboración propia.



La variación de cada variable fue propuesta dentro de un grupo específico de tiempos, pero se observa que las variables correspondientes a uno de los tiempos también afecta a los tiempos de fabricación dentro del mismo producto para los dos sistemas productivos, es decir, las variables consideradas como primordiales dentro de uno de los tiempos, afectó también a los otros tiempos y en ocasiones el impacto que tenía sobre alguna de ellas era más significativa. Por lo que se decidió involucrar el impacto que tienen las siete variables propuestas a las tres categorías de tiempos y no solo a sus grupos pertenecientes como se especifica en la Tabla 10. Para poder apreciar mejor esta variación, se generó una tabla de relación variables-tiempo-sistema productivo por producto analizado mediante porcentajes (Tabla 16 y 17), con la misma escala de colores de la Ilustración 11, que indique la influencia que tienen las variables sobre cada uno de los tiempos de fabricación como lo sugiere Johnson (2005).

Tabla 16. Relación porcentual de las variables productivas por sistema productivo y tiempo de fabricación de la camiseta T-shirt

Variables Productivas	Variación en los tiempos de fabricación de la camiseta T-shirt (%)								
	Variación en el tiempo externo			Variación en el tiempo de transporte			Variación en el tiempo de operación		
	Valor	Línea	Celda	Valor	Línea	Celda	Valor	Línea	Celda
Distancia externa a las estaciones		0.43	-0.54		0.21	-0.47		0.39	-0.38
Arribos (min)		-1.90	-1.43		-2.57	-0.78		0.39	-0.19
Número de unidades procesadas		-0.90	-15.92		0.86	-6.19		-0.93	-0.76
Número de operarios		SC	-51.52		SC	-38.21		SC	-0.95
Tamaño del lote		0.00	0.72		0.00	0.00		0.00	0.00
Distancia entre estaciones		-1.57	-40.97		-49.89	-37.90		-0.36	0.00
WIP		-3.24	0.00		-15.85	5.09		-0.17	0.00

Nota: La parte marcada de celeste indica los lugares estimados en los que las variables tendrían una mayor influencia. El signo negativo indica que las variables disminuyeron los tiempos de fabricación, por el contrario el signo positivo indica un aumento en los tiempos de fabricación. SC, sin cambios. Fuente: elaboración propia.



Tabla 17. Relación porcentual de las variables productivas por sistema productivo y tiempo de fabricación de la camiseta Polo

Variables Productivas	Variación en los tiempos de fabricación de la camiseta Polo (%)								
	Variación en el tiempo externo			Variación en el tiempo de transporte			Variación en el tiempo de operación		
	Valor	Línea	Celda	Valor	Línea	Celda	Valor	Línea	Celda
Distancia externa a las estaciones		-0.57	-1.15		6.60	-4.26		-4.37	-1.40
Arribos (min)		BP	-20.76		-88.68	-64.80		-0.63	-13.88
Número de unidades procesadas		-0.85	-1.86		-74.84	24.86		33.19	4.07
Número de operarios		SC	-7.23		SC	-76.54		SC	-0.28
Tamaño del lote		0.00	0.00		0.00	0.00		-0.01	0.00
Distancia entre estaciones		-0.42	-7.23		-51.89	-81.63		-2.56	-4.21
WIP		0.00	0.00		-55.03	4.54		0.53	0.00

Nota: La parte marcada de celeste indica los lugares estimados en los que las variables tendrían una mayor influencia. El signo negativo indica que las variables disminuyeron los tiempos de fabricación, por el contrario el signo positivo indica un aumento en los tiempos de fabricación. SC, sin cambios; BP, baja productividad. Fuente: elaboración propia.

3.3 Comparativa Línea de producción versus Celda de manufactura

Los resultados demostraron que para ciertos escenarios las variables causaban un mayor impacto dentro de la celda de manufactura o la línea de producción, mismos que se ven reflejados en las tablas 16 y 17, las cuales indican las relaciones que se tienen con cada sistema productivo. Para apreciar mejor esta relación, se generaron las tablas 18 y 19 que concatenan lo mostrado anteriormente mediante una relación directa e indirecta y el nivel de impacto que tienen las variables productivas (Ilustración 12) dentro de la celda y la línea, para los distintos tiempos de fabricación.

Nivel de Impacto	Significado
D	Relación directa
I	Relación indirecta
1	Impacto mínimo (0 al 5%)
2	Impacto leve (5 al 25%)
3	Impacto moderado (25 al 100%)

Ilustración 12. Tipo de relación y nivel de impacto de las variables productivas en el tiempo de fabricación
Fuente: elaboración propia



Tabla 18. Relación y nivel de impacto de las variables productivas en el tiempo de fabricación para cada sistema de manufactura en la fabricación de la camiseta T-shirt.

Variables Productivas	Tiempo externo		Tiempo de transporte		Tiempo de operación	
	Línea	Celda	Línea	Celda	Línea	Celda
Distancia externa a las estaciones	I1	D1	D1	I1	I1	D1
Arribos (min)	D1	D1	I1	I1	D1	I1
Número de unidades procesadas	I1	I2	D1	I2	I1	I1
Número de operarios	SC	I3	SC	I3	SC	I1
Tamaño del lote	SC	D1	SC	SC	SC	SC
Distancia entre estaciones	D1	D3	D3	D3	I1	SC
WIP	I1	SC	D2	I2	I1	SC

Nota: SC, sin cambios; BP, baja productividad. Fuente: elaboración propia.

Tabla 19. Relación y nivel de impacto de las variables productivas en el tiempo de fabricación para cada sistema de manufactura en la fabricación de la camiseta Polo.

Variables Productivas	Tiempo externo		Tiempo de transporte		Tiempo de operación	
	Línea	Celda	Línea	Celda	Línea	Celda
Distancia externa a las estaciones	D1	D1	D2	I1	D1	D1
Arribos (min)	BP	D2	I3	I3	I1	I2
Número de unidades procesadas	I1	I1	I3	D2	D3	D1
Número de operarios	SC	I2	SC	I3	SC	I1
Tamaño del lote	SC	SC	SC	SC	SC	SC
Distancia entre estaciones	D1	D2	D3	D3	I1	I1
WIP	SC	SC	D3	I1	D1	SC

Nota: SC, sin cambios; BP, baja productividad. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, las relaciones y el nivel de impacto que causan las variables productivas en los tiempos de fabricación varían entre sistema productivo, señalando las variables que afectan en mayor medida a la celda de manufactura y a la línea de producción; lo que se esperaría es que independiente del producto tomado, las relaciones directas e indirectas sean las mismas para cada sistema productivo, caso que se cumple en la mayoría de las variables, pero se tienen excepciones que se explican a continuación:

- La distancia externa a las estaciones difiere tanto en la línea como en la celda debido al número de entradas de material externo que tiene cada producto, puesto que esto ocasiona que se den distintas prioridades, que la simulación escoge aleatoriamente, según el flujo de producción.
- El número de unidades procesadas difiere en la celda de manufactura debido al número de operaciones asignadas por operador, puesto que ellos están encargados del transporte del producto entre estaciones y de un número de operaciones en sus celdas de trabajo, que ocasiona que aumentar el número de unidades en la máquina crítica, aumente el número de unidades en proceso para las restantes y por ende, el tiempo de transporte entre operaciones; mientras que en la línea de producción, esta discrepancia se ve reflejada por la intervención del cuello de botella, siendo este un punto crítico diferente para cada producto.



- El tamaño de lote carece de significancia en los tiempos de fabricación para ambos productos, ya que la capacidad de procesamiento de la maquinaria es individual y se cuenta con inventario en proceso, lo que provoca que el tamaño de lote se vea considerado dentro del mismo.

Por consecuente, se puede observar el peso que tuvo cada variable dentro de cada sistema productivo

- La distancia externa a las estaciones generó resultados similares para la celda de manufactura y línea de producción.
- La llegada de arribos tiene una mayor influencia en la celda de ensamblaje, además, alterar el valor de la misma sin considerar el flujo de materiales internos a la línea de producción ocasiona una disminución considerable en la productividad del sistema.
- El número de unidades procesadas y el número de operarios son variables que se deben modificar conjuntamente para alcanzar mejores resultados en los tiempos de fabricación para ambos sistemas productivos, además se puede observar que el número de unidades procesadas tiene mayor impacto dentro de la línea de fabricación.
- El tamaño de lote, dentro de los modelos de productos considerados, no reflejó un impacto significativo para los dos sistemas productivos.
- La distancia entre estaciones tiene mayor significancia en el tiempo de transporte para ambos sistemas productivos, generando un impacto mayor dentro de la celda de manufactura.
- El producto en proceso (WIP) tuvo un mayor impacto dentro de la línea de producción, siendo mínimo para la celda de manufactura.

Por último, el número de operarios fue considerado solamente en la celda de manufactura, pero lo que se debe considerar es que la relación con el tiempo de operación y de transporte, fue dada por la existencia de rutas dentro de la celda que ocasionan que más operarios transporten más producto y por lo tanto disminuyan este tiempo de transporte, pero la operación se ve afectada por este incremento de transporte que puede ser incrementado por otras variables que se mencionaron anteriormente más no por el hecho de que el operador cambió sus métodos de trabajo.

3.4 Discusión

Con base a los resultados obtenidos, el impacto que generan las variables productivas dentro de las respectivas categorías de tiempos asignadas, al modificarlas dentro de las limitaciones propuestas y obtenidas de los modelos de producto, alteraron a las tres categorías de tiempos de fabricación directa e indirectamente. En algunos casos, para obtener mejores resultados, ciertas variables productivas deben ser consideradas de manera colectiva, siendo el caso del número de unidades procesadas conjuntamente con el número de operarios, puesto que ambas variables fueron establecidas en los puntos críticos de la



línea de producción y la celda de manufactura y la forma en la que impactaban al sistema era complementaria entre sí. Además, otras variables como el lote de fabricación no generaron mayor impacto al sistema debido a los lineamientos de los modelos de producto (nivel de inventario y número de unidades procesadas). De la misma manera, el modificar la llegada de arribos creaba resultados que afectaban de manera negativa a la productividad del sistema dentro de la fabricación de la camiseta Polo, por lo que la variable no se podía alterar por si sola. Estas consideraciones muestran que alterar ciertas variables ocasionan que uno de los sistemas se quiebre y sea mejor la implementación del otro, pero todo esto se encuentra en función del modelo de producto que se esté manejando, es decir, en la presente investigación los porcentajes que representan la manera en la que las variables productivas afectan a los tiempos de fabricación no son generales, pero sí lo son las condiciones establecidas, puesto que se logró obtener la influencia que tienen estas variables sobre los tiempos del sector productivo analizado (fabricación textil); por ejemplo, la variación del tiempo externo con respecto a la distancia externa a las estaciones no supera el 2% para ambos sistemas productivos, esto debido a los modelos de producto analizado, ya que la distancia de transporte externo era considerado como una de las mesas auxiliares, es decir, las distancias eran mínimas, en cambio, tomando la consideración donde el transporte es relativamente mayor, este porcentaje aumentará, pero las relaciones directas e indirectas que se obtuvieron son las que generalizarán el impacto de las variables dentro de los sistemas productivos. La presente investigación ayudará al lector a decidir cuándo es mejor optar por celdas de manufactura o líneas de producción, al conocer el tiempo “real” que le toma a un producto ser producido y en cuál de los tres tiempos de fabricación se genera un cambio significativo del tiempo total de fabricación según la conjunción de variables productivas que se consideran para la fabricación del producto.

La orientación que siguió el estudio permitió demostrar como las variables productivas afectan a los tiempos de fabricación de manera directa e indirecta y el impacto que tienen sobre los mismos, permitiendo observar las discrepancias existentes entre ellos y como deben ser tratados colectivamente para seleccionar el sistema productivo concorde al proceso de fabricación. La investigación se suma a la literatura orientada a la elección de celdas de manufactura o líneas de producción como sistema productivo con un enfoque a los tiempos de fabricación, ya que los enfoques dados por otros autores se centran en variables específicas y no al sistema como un todo, como por ejemplo el enfoque hacia la mejora del tiempo de ciclo y el tiempo de producción de lote, al considerar factores como la reducción del tiempo de configuración, el tiempo de movimiento y el tiempo de espera en proceso (Johnson, 2005); o la variación del tamaño de la tienda, los tiempos de configuración y el tiempo de procesamiento (Sengupta & Jacobs, 2004); o la reducción del tiempo de rendimiento total y las horas totales de trabajo mediante el análisis de tres factores, siendo estos las estaciones de trabajo, los tipos de producto y el tamaño de lote (Yu, Gong, Tang, Yin, & Kaku, 2012).



4. Conclusiones

La presente investigación logró concluir que el modificar las variables productivas presentes en un sistema productivo, sea esta, celdas de manufactura o líneas de producción, genera cambios significativos dentro del tiempo externo a las estaciones o celdas de trabajo, el tiempo de transporte entre estaciones u operaciones de trabajo, y el tiempo exclusivo de operación. Además, mediante el análisis de distintos escenarios de producción referentes a un modelo de producto se obtuvieron las relaciones que tienen las variables productivas con los tiempos de fabricación, es decir, relaciones directas e indirectas que indican el comportamiento de las variables; y mediante el uso de una escala, se adicionó el nivel de impacto que causan estas variables a cada tiempo de fabricación dentro de los sistemas productivos analizados, puesto que el propósito de la investigación fue comparar cómo estas variables productivas afectan a los tiempos de fabricación tanto para celda de manufactura como línea de producción. De igual manera se obtuvo que, modificar solo ciertas variables por separado generan cambios que difieren en un mismo sistema productivo (número de unidades procesadas y número de operarios), por lo que es recomendable que las variables se modifiquen conjuntamente según los resultados que se quieran obtener; por el contrario, existen otras variables que no generan mayor impacto al sistema (lote de transferencia) debido a los lineamientos que maneja la empresa, pero su impacto se debe tomar en cuenta en sistemas productivos en los que esta variable tenga mayor relevancia, por lo cual, dependiendo del modelo de producto que se esté analizando, existirá una conjunción de variables que generen beneficios para ese sistema. Por ejemplo, para el caso analizado (sector textil), si el número de unidades procesadas y el producto en proceso se consideran como variables primordiales a las cuales se deben plantear acciones de mejora, la opción por líneas de producción es la más recomendable; caso contrario, si la llegada de arribos y la distancia entre operaciones son las únicas variables que se pueden alterar en el sistema ya sea incrementando o disminuyendo el valor de las mismas, una fabricación en celdas de manufactura sería la mejor opción. Adicional a ello, variables como la distancia externa a las estaciones pueden ser tratadas por igual para ambos sistemas productivos ya que no se encontró un resultado que genere mayor impacto para celdas o líneas. Finalmente, analizar los tiempos de fabricación por separado, apoyó a identificar como la conjunción de ciertas variables hacen que ese tiempo modifique su valor considerablemente, lo que nos permite conocer en qué medida se deben alterar las variables productivas para atacar a ese tiempo en específico y consecutivamente reducir el tiempo total de fabricación.

La misma metodología puede ser aplicada a distintos sectores productivos dentro de los cuales, mediante la introducción adecuada de las variables productivas, se puede determinar el comportamiento del tiempo de fabricación al modificar esas variables dentro del sistema productivo analizado y a su



Universidad de Cuenca

vez, establecer lineamientos de producción que permitan reducir el tiempo de fabricación en los puntos críticos de la empresa, además futuros estudios pueden ser planteados tomando como base esta investigación, mismos que involucren la conjunción de diferentes variables como es el tiempo setup, la cual no fue involucrada en la investigación puesto que no hubo la introducción de nuevos productos que ocasionaran la inclusión de este tiempo, o la consideración del tamaño de lote con mayor relevancia para un modelo de producto, como es la fabricación de muebles en el sector maderero, así mismo considerar problemas habituales en las celdas o líneas de trabajo como son: problemas de calidad y paros por procesos; y cómo estos problemas afectan a las variables planteadas en esta investigación. De la misma manera, se puede considerar el análisis de la existencia de límites dentro de los cuáles una variable puede ser alterada mediante una fabricación en celdas y líneas; o una matriz de decisión que considere la fabricación de distintos productos dentro de un solo sistema productivo mediante la ponderación del producto predominante.

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi familia por el apoyo fundamental que han entregado durante toda mi etapa de formación académica, en especial a mi padre, el cual me ha inspirado siempre a seguir adelante; también agradezco a mis compañeros de carrera que me entregaron sus sugerencias para la mejora de la presente investigación. De la misma forma, me gustaría agradecer al personal docente de la facultad de Ciencias Químicas, carrera Ingeniería Industrial, que me han apoyado con sus ideas y consejos para el desarrollo de la investigación en especial a mi Director el Ingeniero Juan Carlos Llivisaca por brindarme su ayuda frente a las dudas existentes, al igual que alternativas para la resolución de las mismas.



Bibliografía

- Adil, G. K., & Rajamani, D. (2001). The trade-off between intracell and intercell moves in group technology cell formation. *Journal of Manufacturing Systems*, 19(5), 305–317. [https://doi.org/10.1016/S0278-6125\(01\)89003-8](https://doi.org/10.1016/S0278-6125(01)89003-8)
- Adnan, A. N., Arbaai, N. A., & Ismail, A. (2016). Improvement of overall efficiency of production line by using line balancing. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(12).
- Becker, C., & Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 694–715. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.023>
- Bernal, M., Sarmiento, G., & Restrepo, J. (2015). Productividad en una celda de manufactura flexible simulada en promodel utilizando path networks type crane. *Engineering Management Journal Elmquist & Segrestin*, 27(2), 829–838. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/114/1/012049>
- Botero Botero, L. F., & Acevedo, H. (2011). Simulación de operaciones y línea de balance: herramientas integradas para la toma de decisiones. *Ingeniería y Ciencia - Ing.Cienc.*, 7(13), 29–45. Retrieved from <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/view/399>
- Das, K. (2008). A comparative study of exponential distribution vs Weibull distribution in machine reliability analysis in a CMS design. *Computers and Industrial Engineering*, 54(1), 12–33. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.06.030>
- Delgado, E., Cortés, C. J., & Duarte, O. (2005). Aplicación de algoritmos genéticos para la programación de tareas en una celda de manufactura. *Revista Ingeniería e Investigación*, 25(2), 24–31.
- Domingo, R., Alvarez, R., Melodía, M., & Calvo, R. (2007). Materials flow improvement in a lean assembly line: a case study. *Assembly Automation*, 27(2), 141–147. <https://doi.org/10.1108/01445150710733379>
- Egilmez, G., Erenay, B., & Süer, G. A. (2014). Stochastic skill-based manpower allocation in a cellular manufacturing system. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(4), 578–588. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.05.005>
- Elsayed, E. A., & Kao, T. Y. (1990). Machine assignments in production systems with manufacturing



- cells. *International Journal of Production Research*, 28(3), 489–501.
<https://doi.org/10.1080/00207549008942732>
- Esa, M. M., Rahman, N. A. A., & Jamaludin, M. (2015). Reducing High Setup Time in Assembly Line: A Case Study of Automotive Manufacturing Company in Malaysia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 211, 215–220. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.086>
- García, E., García, H., & Cárdenas, L. E. (2013). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*. (L. M. Cruz, Ed.) (2da ed.). México: Pearson Educación.
- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna, Materiales, Procesos y Sistemas*. (W. Stenquist, Ed.) (1st ed.). México: Pearson Educación.
- Gultekin, H., Akturk, M. S., & Karasan, O. E. (2010). Bicriteria robotic operation allocation in a flexible manufacturing cell. *Computers and Operations Research*, 37(4), 779–789.
<https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.06.025>
- Gupta, J. N. D., & Schaller, J. E. (2006). Minimizing flow time in a flow-line manufacturing cell with family setup times. *Journal of the Operational Research Society*, 57(2), 163–176.
<https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601971>
- Johnson, D. J. (2005). Converting assembly lines to assembly cells at Sheet Metal Products: Insights on performance improvements. *International Journal of Production Research*, 43(7), 1483–1509.
<https://doi.org/10.1080/00207540412331299594>
- Kaku, I., Gong, J., Tang, J., & Yin, Y. (2009). Modeling and numerical analysis of line-cell conversion problems. *International Journal of Production Research*, 47(8), 2055–2078.
<https://doi.org/10.1080/00207540802275889>
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. (L. Cruz, Ed.) (Quinta). México: Pearson Educación.
- Kekre, S., Rao, U. S., Swaminathan, J. M., & Zhang, J. (2003). Reconfiguring a Remanufacturing Line at Visteon, Mexico. *Interfaces*, 33(6), 30–43. <https://doi.org/10.1287/inte.33.6.30.25184>
- Kursun, S., & Kalaoglu, F. (2009). Simulation of production line balancing in apparel manufacturing. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 75(4), 68–71.
- Meyers, F. E., & Stephens, M. P. (2006). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. (P. M. Guerrero, Ed.) (Tercera). México: Pearson Educación.
- Mohammadi, G., & Mohammadi, D. (2016). Scheduling a Flow Line Manufacturing Cell with Sequence Dependent Family Setup Times Using Bilateral Genetic Algorithm (BGA), 3(3), 14–



- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Peláez Mejía, K. A., Payán Quevedo, J. L., & Salazar Ramos, A. F. (2016). Herramienta didáctica para la explicación de conceptos de balanceo de línea en cursos de producción de los programas de ingeniería industrial. *Revista Educación En Ingeniería*, 11(21), 51–58.
- Pérez, I. J. (2008). Proyecto para incrementar la productividad con el diseño de células de manufactura en el área de condensadores en una empresa metalmecánica.
- Perez Rave, J., & Parra Mesa, C. (2010). Improvement of an assembly process front seat to cars using system dynamics simulation. *Revista Técnica De La Facultad De Ingeniería Universidad Del Zulia*, 33(1), 11–20.
- Proaño, M. B. (2011). *Diseño de Celdas de Manufactura y Propuesta de Balanceo de Línea en la Empresa Trapitos*. Universidad del Azuay. Retrieved from <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/664>
- Restrepo, J., Medina, P., & Cruz, E. (2008). Assembly balancing line problem SALBP-1 and SALBP-2 : a case of study. *Scientia Et Technica*, (40), 105–110.
- Ruzanita, M. R., & Wan, R. I. (2012). Operator Allocation in Labor-Intensive Manufacturing System. *ICSSBE 2012 - Proceedings, 2012 International Conference on Statistics in Science, Business and Engineering: “Empowering Decision Making with Statistical Sciences,”* 433–436. <https://doi.org/10.1109/ICSSBE.2012.6396602>
- Schaller, J. (2007). Designing and redesigning cellular manufacturing systems to handle demand changes. *Computers & Industrial Engineering*, 53(3), 478–490. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.05.006>
- Sengupta, K., & Jacobs, F. R. (2004). Impact of work teams: A comparison study of assembly cells and assembly line for a variety of operating environments. *International Journal of Production Research*, 42(19), 4173–4193. <https://doi.org/10.1080/00207540410001720421>
- Sirovetnukul, R., & Chutima, P. (2010). The impact of walking time on U-shaped assembly line worker allocation problems. *Engineering Journal*, 14(2), 53–78. <https://doi.org/10.4186/ej.2010.14.2.53>
- Tiago, J., & Covas, M. (2014). Production Line Balancing Simulation : A case study in the Footwear Industry.
- Torres, J. (1999). *Células de trabajo*. Universidad de Sonora. Retrieved from



[http://www.bidi.uson.mx/tesisDet.aspx?crit1=TITULO&texto1=células
trabajo&crit2=TITULO&texto2=](http://www.bidi.uson.mx/tesisDet.aspx?crit1=TITULO&texto1=células%20trabajo&crit2=TITULO&texto2=)

de

Yu, Y., Gong, J., Tang, J., Yin, Y., & Kaku, I. (2012). How to carry out assembly line-cell conversion? A discussion based on factor analysis of system performance improvements. *International Journal of Production Research*, 50(18), 5259–5280. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.693642>