



# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## **Creación de herramientas de mejora continua en la planificación logística industrial**

Autor: Juan Francisco Aguilera Funes

Director: Pedro Sánchez Martín

Madrid

Junio de 2019



## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### ***1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.***

El autor D. Juan Francisco Aguilera Funes

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra:

**Creación de herramientas de mejora continua en la planificación logística industrial**, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### ***2º. Objeto y fines de la cesión.***

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### ***3º. Condiciones de la cesión y acceso***

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

#### ***4º. Derechos del autor.***

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

#### ***5º. Deberes del autor.***

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

#### ***6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.***

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El

autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.

- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 24 de Junio de 2019

**ACEPTA**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Juan Francisco Aguilera Funes', written over a horizontal line.

Fdo. Juan Francisco Aguilera Funes

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título **Creación de herramientas de mejora continua en la planificación logística industrial** en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2018/2019 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Juan Francisco Aguilera Funes

Fecha: 24 / 06 / 2019

Autorizada la entrega del proyecto  
EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Pedro Sánchez Martín

Fecha: 26/ 06 / 2019







# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## **Creación de herramientas de mejora continua en la planificación logística industrial**

Autor: Juan Francisco Aguilera Funes

Director: Pedro Sánchez Martín

Madrid

Junio de 2019



# CREACIÓN DE HERRAMIENTAS DE MEJORA CONTINUA EN LA PLANIFICACIÓN LOGÍSTICA INDUSTRIAL

Autor: Aguilera Funes, Juan Francisco

Director: Sánchez Martín, Pedro

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## RESUMEN DEL PROYECTO

### INTRODUCCIÓN

La filosofía de trabajo que motiva el “*Lean Manufacturing*” se basa en una serie de conceptos y técnicas implementadas para eliminar el desperdicio de forma que el proceso de producción sea más eficiente. Esta novedosa forma de trabajar permite la producción “*Just in Time*” así como la entrega de productos y servicios en el tiempo y forma demandada. Esta filosofía está motivada por la cultura del cambio continuo y conduce a una nueva forma de producir en la cual se planifican los recursos empleados de manera que el desperdicio sea mínimo.

La forma de trabajar aplicando esta filosofía consiste en eliminar todas aquellas actividades que no aporten un valor añadido al proceso productivo, para que se consiga optimizar al máximo el tiempo de fabricación, es decir, el tiempo que tarda un proceso de producción en salir como producto o servicio final desde que se comienza a trabajar en él. Es muy importante analizar y mejorar cada proceso de forma continua para que la línea de producción en su conjunto sea más eficiente.

Esta metodología intenta mejorar el proceso de producción, optimizando el tiempo de fabricación para producir productos y servicios con una alta calidad y cumpliendo con los tiempos de espera comprometidos con el cliente. Todo el proceso en su conjunto debe satisfacer las necesidades del cliente, sin que, por la mejora del mismo, el producto o servicio final sufra un incremento del precio de venta al consumidor, es decir, es un compromiso de los encargados del proceso de producción fabricar con la optimización de costes y tiempo para ofrecer al cliente un producto de la máxima calidad.

## **OBJETIVOS**

Los objetivos que motivan este proyecto consisten en el afianzamiento de los conceptos de “*Lean Manufacturing*” y de los procesos Kanban en los alumnos de primero de Máster en Ingeniería Industrial, a través de las prácticas de laboratorio impartidas en la asignatura de Sistemas de Producción y Fabricación (SPF). Es por ello, que los alumnos deberán comprender y trabajar progresivamente la metodología Kanban, así como los procesos productivos con uso de “*Just in Time*”, todos ellos relacionados con la materia impartida en clase de SPF, y dentro del marco académico del “*Lean Manufacturing*”. Como ya se ha comentado con la nueva metodología se potencia todas las actividades que aportan un valor añadido al proceso de producción, en detrimento de aquellas actividades que no aportan valor alguno y que crean desperdicio dentro del proceso.

Por lo tanto, el objetivo fundamental de este proyecto es ver en la realidad el funcionamiento de un proceso Kanban, así como comprender los principios en los que se basa esta metodología. Formar al alumno para que forme parte del proceso de producción es una tarea innovadora que se incluye también dentro de los objetivos de este trabajo, ya que va a poder experimentar cómo varían los conceptos relacionados con el tiempo de fabricación, el trabajo procesado y la demanda requerida en cada momento, para así poder relacionarla con procesos *pull* o *push*, comprendiendo las diferencias entre éstos.

Con el desarrollo del software necesario para la realización de la práctica, es decir, habiendo simulado con el programa de simulación “*ARENA*”, se tomarán todos los datos referentes al tiempo, forma y orden que se siguen en la línea de producción y ensamblaje de piezas de puertas de vehículos en la línea de producción serie de Grupo Antolín.

Finalmente, con la realización de este TFM se pretende desarrollar una herramienta de mejora continua en la planificación logística industrial, es decir, se va profundizar en la cadena de valor de los procesos productivos industriales, y al aplicarlos a los procesos prácticos docentes, de los que versarán las prácticas de laboratorio, se entenderá qué tipo de actividades son las que marcan el ritmo de producción de línea de producción y qué se puede hacer para incrementar dicho ritmo de producción, así como reforzar conceptos importantes dentro de la metodología “*Lean*”. En este sentido, el alumno podrá comprobar cómo varía el flujo de trabajo y el tiempo de fabricación cuando se sufre una variación de tiempo en cada una de las actividades del proceso.

## **METODOLOGÍA**

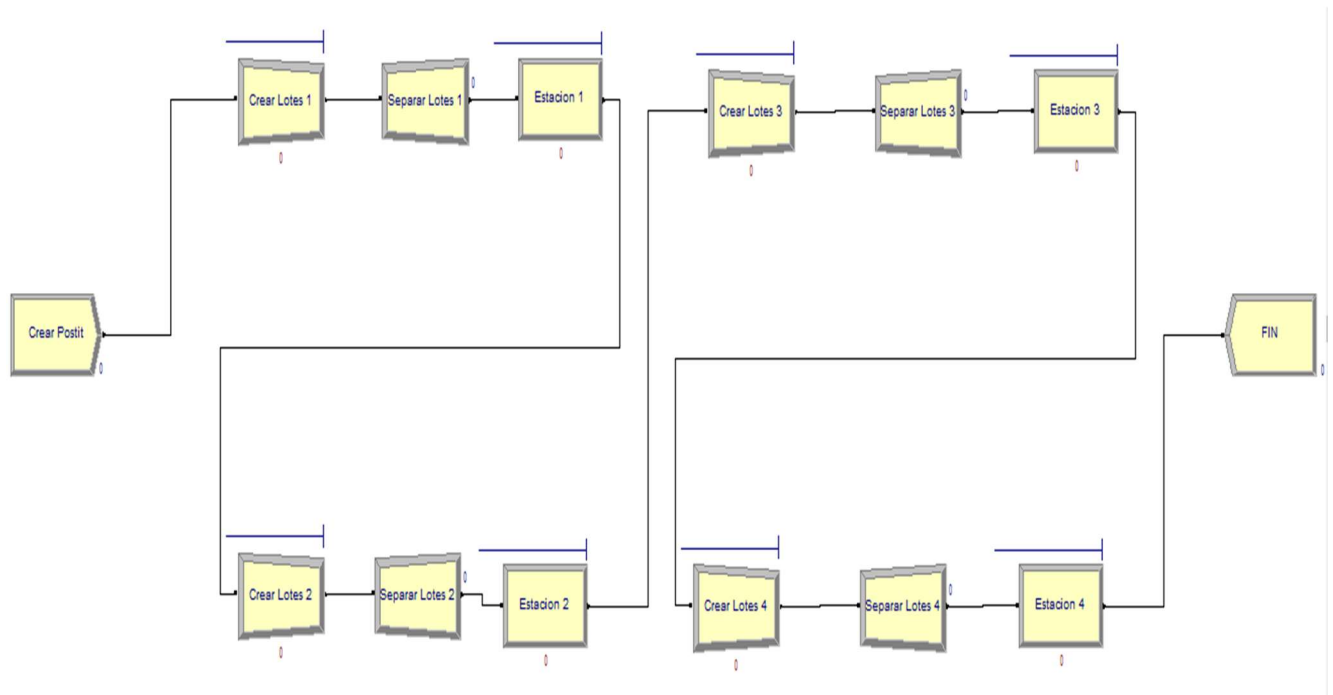
La metodología que va a implementar este proyecto es la del cambio continuo, por tanto, se va a prestar especial interés a evitar el desperdicio de la mejor forma posible, para simplificar el tiempo de producción de cada una de las actividades que forman parte del proceso fabricación de una planta, que será la que se simulará en una de las prácticas docentes. Las dos prácticas, que se realizarán en clase en un mismo día durante la duración de una clase de 100 minutos, primero intentarán explicar teóricamente la importancia de reducir el tiempo de fabricación, es decir, el tiempo total en el que una pieza es procesada en un sistema productivo desde que llega al mismo hasta que está en las condiciones para ser entregada al cliente.

Concretamente la metodología estudiada permite orientar de manera más simplificada y clara las necesidades del cliente durante el proceso de fabricación, planificando la producción eficientemente, es decir, para que se aprovechen todos los recursos disponibles en tiempo y forma, evitando la posible aparición de errores. De cualquier modo, cuando un error sea visible, es necesario analizarlo y llegar hasta la causa raíz del mismo para que éste no se vuelva a repetir en el futuro. La forma de llegar a este error, consiste en preguntarse en sucesivas ocasiones qué causa dicho error con la denominada norma de los “5 *Why's*”.

Por último, la dinámica de las prácticas va a constar de tres partes, como ya se viene haciendo en las que se han realizado durante estos años. En primer lugar, al comenzar la sesión, se evaluará a los alumnos sobre el contenido del guion aportado, y así se evaluará el conocimiento previo de los alumnos. A continuación, se procederá a desarrollar la práctica tal y como conste en el guion de prácticas, para el correcto funcionamiento de la misma, se seguirá el mismo fielmente, evitando así la posible aparición de errores. Finalmente, se recogerán y analizarán los datos tal y como dicten los profesores, y si es de interés, se entregarán al profesor para que pueda evaluar el desempeño de la práctica por parte de los alumnos, teniendo esta evaluación un peso en la calificación de la asignatura.

## RESULTADOS

Para obtener unos resultados con ajuste a la realidad de las prácticas a implementar en clase, se ha optado por utilizar el programa de simulación *ARENA*, con el cual se ha creado un modelo de producción en línea con cuatro estaciones, las cuales tienen sus propias singularidades y tiempos de trabajo como se puede ver a continuación:



Este modelo se puede simular en una o varias iteraciones dependiendo de la robustez de los resultados que se deseen obtener, en tal caso se escogerá una sola iteración para la primera práctica, puesto que apenas presentará sesgo; sin embargo, en la segunda práctica será necesario obtener diferentes iteraciones dado que el proceso es más rápido y mucho más estocástico en la formulación de los resultados, y de esta forma, se podrán obtener resultados que podrán ser analizados en profundidad en sus correspondientes secciones, pero que también se resumirán a continuación.

Cuando se ejecuta dicho modelo se pueden extraer diferentes conclusiones y resultados dependiendo en qué aspectos queramos centrar nuestro estudio. Fijándonos en aquellos conceptos relativos al “Lean Manufacturing”, se puede observar que al limitar el tamaño del lote, y por lo tanto que haya menos trabajo en curso en el proceso (WIP), menor será el Lead Time, y por tanto menos tiempo estará un producto dentro del proceso de producción. Además,

cuanto más pequeño se hace el lote de trabajo, menos tiempo de espera habrá de material delante de cada estación.

Es importante optimizar el proceso de producción para que se opere con un ritmo de fabricación equilibrado, es decir, cuando se trabaja con lotes pequeños normalmente se consiguen mejores resultados en este sentido, pero si el tamaño del lote es demasiado bajo habrán estaciones tengan un ritmo de producción mucho mayor a otras, y por tanto favorezcan el desequilibrio; y por el contrario, cuando el tamaño del lote es demasiado alto, entonces habrá mucho trabajo en curso (WIP), con todas las nefastas consecuencias en cuanto a la eficiencia del proceso que esto implica.

Hay que tener en cuenta que un WIP elevado favorece normalmente los retrasos en las entregas comprometidas con el cliente, ya que no se cumplen con las estimaciones previstas al tener que procesar y trabajar con material que no está previsto manejar durante el proceso de producción. El hecho de haber grandes lotes implica que no quede claro que se debe hacer con los productos que no están procesados completamente, ya que éstos ocupan lugar, tiempo de transporte para los operarios y por tanto, no quedan claras las prioridades en cuanto al almacenaje temporal de los mismos.

Cuando se trabaja con tamaños de lote moderados, es importante utilizar uno de los elementos más relevantes de la metodología Kanban, las tarjetas de identificación y visualización del estado del proceso, ya que con éstas es posible conocer el estado del trabajo hasta ese momento, para así poder tomar decisiones adecuadas sobre qué hacer después con el material en curso. También, estas tarjetas incluyen la descripción del tipo del trabajo a realizar con el material que identifican, con sus respectivas fechas límite de actuación y con la identificación del operario que debe actuar sobre el mismo.

Finalmente, cabe decir que no hay un límite de trabajo en curso (WIP) correcto para una determinada tarea, ya que el objetivo de todo proceso es mejorar su flujo, pero sí es fácil observar este valor para detectar problemas de cuello de botella o mejora de equilibrio de líneas. Por ello una premisa importante para mejorar el flujo de este proceso y de cualquiera con el que se pretenda implantar una metodología Kanban es parar de empezar a trabajar con nuevos productos, y empezar a terminar con los que ya se ha empezado.

## **CONCLUSIONES**

Este trabajo ha sido una gran oportunidad de mejora de ciertos procedimientos docentes en la asignatura de Sistemas de Producción y Fabricación (SPF) ya que se ha intentado planificar y organizar dos prácticas docentes, que simulen la producción logística industrial dentro de un escenario de producción basado en la producción “*Just in Time*”, y por tanto usando la metodología Kanban, estando ésta además combinada con la cultura del Lean Manufacturing. Las razones por las que en la mayoría de los sistemas de producción se está implantando la metodología Kanban radican en la necesidad de implementar un sistema en el que se cumplan con los plazos de entrega con el cliente, porque mediante la señalización de tarjetas tipo Kanban, estos plazos son más visibles y tenidos en cuenta durante todas las estaciones de trabajo en la línea de producción. También mediante la implantación de esta metodología, se equilibran las estaciones de trabajo de forma que el trabajo en cada una de ellas sea regular y acorde con la fragmentación total de las tareas. Una de las principales ventajas de la utilización de tarjetas Kanban es la formalización de las prioridades dentro del proceso, de manera que mediante una escala de valores en forma de colores, se puede ver cuáles son las tareas que presentan prioridad frente a las que tienen más flexibilidad en su ejecución, teniendo siempre en cuenta el período de entrega comprometido con el cliente.

La implantación de la metodología Kanban y la filosofía del Lean Manufacturing en cada una de las prácticas docentes planteadas en este proyecto hacen entender a los alumnos la importancia de visualizar el trabajo para que quede claro quién se encarga de cada tarea, así como que quede constancia de las unidades procesadas y el WIP mediante la correcta manipulación de las tarjetas Kanban. Es por ello, que en las diferentes prácticas docentes se hace especial hincapié en la inspección y adaptación de todos los miembros del equipo en sus puestos de trabajo, para que entiendan la importancia que tiene la visualización del flujo de trabajo y los problemas que pueden aparecer al aparecer cuellos de botella o falta de material en estaciones críticas.

Finalmente, cabe decir que la industria de la producción y la fabricación está sufriendo cambios continuamente en cómo se organizan y cómo se distribuyen las tareas en sus determinados sistemas productivos, por tanto, desde el ámbito docente es importante ir involucrando a los alumnos en la mejora continua de estos procesos, de forma que tomen una forma de pensar encaminada a la consecución de arriesgados retos que mejoren cualquier aspecto industrial.



## **REFERENCIAS**

[HAMM14] Hammarberg, M., Sundén, J., “Kanban in Action”. Manning Publications Co. Shelter Island, NY, USA. 2014.

[HEIK16] Heikkila, V. T., Paasivaara, M., Lassenius, C. “Teaching University Students Kanban with a Collaborative Board Game”. ICSE '16 Companion. Austin, TX, USA. 2016.

[LETE15] Letelier Torres, P. “Una actividad para enseñar el uso de tableros Kanban y diagramas de flujo acumulado”. Departamento de Sistemas Informáticos y Computación. Universidad Politécnica de Valencia. Andorra La Vella. 2015.

[ICAI18] Departamento de Organización Industrial. Universidad Pontificia Comillas ICAI. “Lean Manufacturing”. Madrid. 2018.

[LIKE11] Liker, J.K., Franz, J.K., “The Toyota Way to Continuous Improvement: Linking Strategy and Operational Excellence to Achieve Superior Performance”. McGraw-Hill Education. Harvard, USA. 2011.

[RIES11] Ries, E., “The Lean Startup: How Today’s Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses”. Crown Business. New York, USA. 2011.



# **CREATION OF CONTINUOUS IMPROVEMENT TOOLS IN THE INDUSTRIAL LOGISTICS PLANNING**

Author: Aguilera Funes, Juan Francisco

Director: Sánchez Martín, Pedro

Collaborating Institution: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **PROJECT ABSTRACT**

### **INTRODUCTION**

The work philosophy that motivates "Lean Manufacturing" is based on a series of concepts and techniques implemented to eliminate waste so that the production process is more efficient. This new way of working allows the production "Just in Time" as well as the delivery of products and services in the time and manner demanded. This philosophy is motivated by the culture of continuous change and leads to a new way of producing in which the resources used are planned so that waste is minimal.

The way of working applying this philosophy is to eliminate all those activities that do not provide added value to the production process, so that we can optimize the manufacturing time to the maximum, that is, the time it takes a production process to exit as a product or final service since it has been manufactured by working on it. It is very important to analyse and improve each process continuously so that the production line as a whole entity is more efficient.

This methodology tries to improve the production process, optimizing the manufacturing time to produce products and services with a high quality and fulfilling the waiting times committed to the client. The whole process must meet the needs of the customer, bearing in mind that the improvement of the final product or service, must not suffer an increase in the price of sale to the consumer, i.e., it is a commitment of those responsible for the production process manufacture with the optimization of costs and time to offer the customer a product of the highest quality.

## **OBJECTIVES**

The objectives that motivate this project consist of the consolidation of the concepts of "Lean Manufacturing" and of Kanban processes in the students of First Year Master in Industrial Engineering, through the laboratory practice sessions taught in the subject of SPF. That is why students must understand and work progressively Kanban methodology, as well as productive processes using "*Just in Time*", all related to the subject taught in SPF class, and within the academic framework of "Lean Manufacturing". As it has already been mentioned with the new methodology, all the activities that add value to the production process are promoted, to the detriment of those activities that do not contribute any value and that create waste in the process.

Therefore, the main objective of this project is to see the real operation of Kanban process, as well as to understand the principles on which this methodology is based. Training the student to be part of the production process is an innovative task that is also included within the objectives of this project, since they will be able to experience how the concepts related to manufacturing time, processed work and demand vary required in each moment, in order to relate it to pull or push processes, understanding the differences between them.

Developing the software is necessary for the realization of the practice session, which is, having simulated with the simulation program "ARENA", all the data referring to the time, form and order that are followed in the line of production and assembly of parts of vehicle doors in the Grupo Antolín series production line.

Finally, with the realization of this TFM, it is intended to develop tools for the creation of continuous improvement within logistics planning, that is, to understand better the value chain of industrial production processes, and to apply them to the practical teaching processes that will cover the laboratory practice sessions, it will be understood what type of activities are those that lead the production line manufacturing rate and what can be done to increase this rate of production, as well as reinforce important concepts within the "Lean" methodology. In this case, the student will be able to see how the work flows and the manufacturing time varies when any of the activities of the process suffers a variation in time.

## **METHODOLOGY**

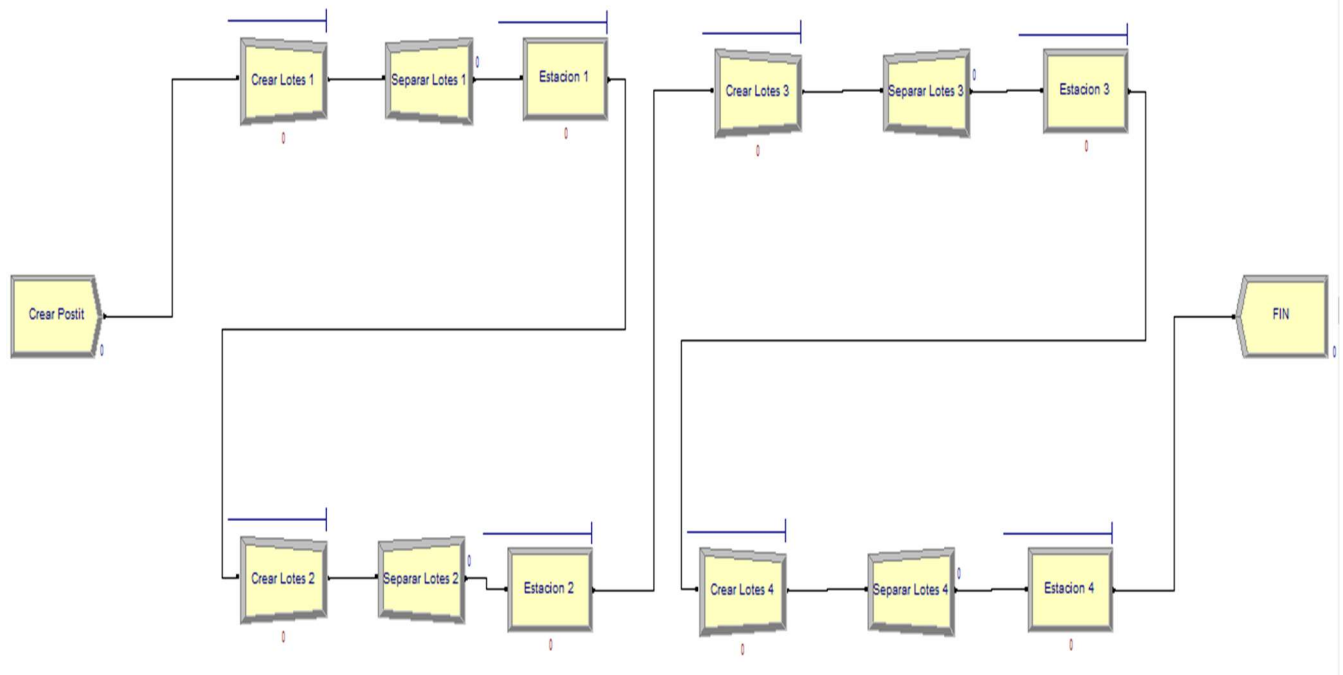
The methodology that will implement this project is related to continuous change, therefore, we will pay special attention to avoid waste in the best way possible, to simplify the production time of each of the activities that are part of the manufacturing process of a plant, which will be simulated in one of the teaching practice sessions. The two practice sessions that will be done in class on the same day, during a class of 100 minutes time, will first try to explain theoretically the importance of reducing the manufacturing time, that is, the total time in which a piece is processed in a productive system since it reaches the production line until it is in conditions to be delivered to the customer.

Specifically, the methodology studied allows to guide in a simplified and clear way the needs of the customer during the manufacturing process, planning the production efficiently, that is, to take advantage of all available resources in a timely manner, avoiding the possible occurrence of errors. Anyway, when an error is visible, it is necessary to analyse it and reach the root cause of this, so that it does not happen again in the future. The way to get to this error, is to ask each other on several occasions what causes this error with the so-called "5 Why's" rule.

Finally, the dynamics of the practice sessions will consist of three parts, as it has already been done in those that have been carried out during these past years. Firstly, at the beginning of the session, the students will be evaluated about the content of the script provided, and in this way the students' prior knowledge will be evaluated. Then, we will proceed to develop the practice session as stated in the script of practice sessions, for the correct operation of this, it will be followed faithfully, thus avoiding the possible occurrence of errors. Finally, the data will be collected and analysed as dictated by the professors, and if it is of interest, they will be delivered to the teacher so that they can evaluate the performance of the practice sessions on the students, having this evaluation a ponderation in the final grade of the subject.

## RESULTS

In order to obtain results adjusted to the reality of the practice sessions to be implemented in class, we have chosen ARENA simulation program, which has created a line production model with four stations, which have their own singularities and work timetable as it can be seen below:



This model can be simulated in several iterations depending on the robustness of the results that we wish to obtain, in which case a single iteration will be chosen for the first practice session, since it will hardly present bias; however, in the second practice session it will be necessary to obtain different iterations since the process is faster and much more stochastic in the presentation of the results, and in this way, results obtained can be analyzed in depth in their corresponding sections, but that will also be summarized below.

When this model is executed, different conclusions and results can be drawn depending on what aspects we want to focus our study on. Looking at those concepts related to "Lean Manufacturing", we can see that by limiting the size of the batch, so that there is less work in progress in the system (WIP), the lower the Lead Time is, and therefore less time a product will stay within the production process. In addition, the smaller the work batch is done, the less waiting time there will be material in front of each station.

It is important to optimize the production process so that it is operated with a balanced manufacturing rhythm, that is, when working with small batches usually better results are achieved in this way, but if the batch size is too low there will be many stations where the manufacturing rhythm is much higher than in other ones, making the system too unbalanced; and on the contrary, when the batch size is too high, then there will be a lot of work in progress (WIP), with all the nefarious consequences in terms of the efficiency of the process that this implies.

It is necessary to keep in mind that a high WIP normally favors delays in deliveries committed to the customer, since they do not meet the expected estimations to process and work with material that is not expected to handle during the production process. The fact of having large batches means that it is not clear what should be done with the products that are not completely processed, since these take space, transport time for the operators, and therefore, the priorities regarding temporary storage are not clear.

When working with moderate batch sizes, it is important to use one of the most relevant elements of the Kanban methodology, identification cards and visualization of the status of the process, since with these, it is possible to know the status of the work state up to that moment, so that you can make appropriate decisions about what to do next with the material in progress. Also, these cards include the description of the type of work to be done with the material they identify, with their respective deadlines for action and with the identification of the operator who must act on it.

Finally, it can be said that there is no correct work in progress (WIP) limit for a certain task, since the objective of every process is to improve the flow, but it is easy to observe this value to detect bottleneck problems or improvement of line balancing. Therefore, an important premise to improve the flow of this process and anyone who intends to implement a Kanban methodology is to stop working with new products, and beginning to finish with those that have already begun.

## **CONCLUSIONS**

This project has been a great opportunity to improve certain teaching procedures in the subject of Production and Manufacturing Systems (PMF) since it has tried to plan and organize two teaching practice sessions, which simulate the industrial logistics manufacturing within a scenario of production based in the production "*Just in Time*", and therefore using Kanban methodology, which is also combined with the Lean Manufacturing culture. The reasons why the Kanban methodology is being implemented in most production systems are the need to implement a system in which the delivery terms with the client are met, because by means of signaling Kanban type cards, these terms are more visible and taken into account during all work stations in the production line. Also through the implementation of this methodology, the work stations are balanced so that the work in each of them is regular and in line with the total fragmentation of the tasks. One of the main advantages of using Kanban cards is the formalization of the priorities within the process, so that by means of a scale of values in the colors way, you can see which tasks have priority over those that have more flexibility in its execution, always taking into account the delivery period committed to the customer.

The implementation of the Kanban methodology and the philosophy of Lean Manufacturing in each of the teaching practice sessions proposed in this project make students understand the importance of visualizing the work so that it is clear who is responsible for each task, as well as that there is proof of the processed units and the WIP through the correct handling of the Kanban cards. That is why, in the different teaching practice sessions, special emphasis is placed on the inspection and adaptation of all the members of the team in their tasks, so that they understand the importance of the visualization of the workflow and the problems that may appear when bottlenecks or lack of material appear in critical stations.

Finally, it must be said that the production and manufacturing industry is undergoing continuous changes in how they are organized and how tasks are distributed in their specific production systems, therefore, from the teaching field it is important to involve students in the continuous improvement of these processes, so that they take part of thinking aimed at achieving risky challenges that improve any industrial field.



## **REFERENCES**

[HAMM14] Hammarberg, M., Sundén, J., “Kanban in Action”. Manning Publications Co. Shelter Island, NY, USA. 2014.

[HEIK16] Heikkila, V. T., Paasivaara, M., Lassenius, C. “Teaching University Students Kanban with a Collaborative Board Game”. ICSE '16 Companion. Austin, TX, USA. 2016.

[LETE15] Letelier Torres, P. “Una actividad para enseñar el uso de tableros Kanban y diagramas de flujo acumulado”. Departamento de Sistemas Informáticos y Computación. Universidad Politécnica de Valencia. Andorra La Vella. 2015.

[ICAI18] Departamento de Organización Industrial. Universidad Pontificia Comillas ICAI. “Lean Manufacturing”. Madrid. 2018.

[LIKE11] Liker, J.K., Franz, J.K., “The Toyota Way to Continuous Improvement: Linking Strategy and Operational Excellence to Achieve Superior Performance”. McGraw-Hill Education. Harvard, USA. 2011.

[RIES11] Ries, E., “The Lean Startup: How Today’s Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses”. Crown Business. New York, USA. 2011.



## TABLA DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN .....	29
1.1.	ASIGNATURA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y FABRICACIÓN.....	30
1.2.	GRUPO ANTOLIN.....	32
1.3.	ESTRUCTURA DEL PROYECTO.....	35
2.	ESTADO DEL ARTE.....	37
2.1.	INICIOS DE LA FILOSOFÍA LEAN .....	37
2.2.	ESTADO DE LAS PRÁCTICAS EN CLASE EN ICAI.....	41
3.	MOTIVACIÓN.....	43
4.	OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	47
5.	METODOLOGÍA.....	49
5.1.	HERRAMIENTAS Y CONCEPTOS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS.....	49
5.1.1.	LEAD TIME .....	50
5.1.2.	THROUGHPUT .....	53
5.1.3.	PUSH VS PULL .....	54
5.1.4.	WORK IN PROGRESS (WIP).....	56
5.2.	LEAN MANUFACTURING EN UNA PLANTA INDUSTRIAL .....	57
6.	PRÁCTICAS A IMPLANTAR EN CLASE .....	61
6.1.	PRÁCTICA 1: “Pass the Post-its” .....	61
6.1.1.	CONTEXTO INDUSTRIAL DE LA PRÁCTICA.....	61
6.1.2.	ORGANIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN .....	61
6.1.3.	CONOCIMIENTOS A ALCANZAR.....	64
6.1.4.	RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE SIMULACIÓN .....	65
6.2.	PRÁCTICA 2: “Pass the Doors” .....	75

6.2.1.	CONTEXTO INDUSTRIAL DE LA PRÁCTICA.....	75
6.2.2.	ORGANIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN .....	77
6.2.3.	CONOCIMIENTOS A ALCANZAR.....	84
6.2.4.	RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE SIMULACIÓN .....	85
7.	CONCLUSIONES .....	95
8.	PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	99
8.1.	PLANIFICACION .....	99
8.2.	PRESUPUESTO .....	101
9.	ÍNDICE DE TABLAS .....	105
10.	ÍNDICE DE FIGURAS.....	107
11.	ÍNDICE DE ANEXOS .....	109
12.	BIBLIOGRAFÍA .....	111
13.	ANEXOS .....	113

## 1. INTRODUCCIÓN

La filosofía del “*Lean Manufacturing*” es una nueva metodología de organización y planificación del trabajo que desde sus inicios está obteniendo unos muy buenos resultados en los campos de la industria en los que están siendo implantados. De acuerdo con este nuevo concepto, a continuación se entrará en mayor profundidad a explicar cómo esta filosofía de trabajo está presente en la universidad, explicando cómo se estudia y qué habilidades y destrezas se pretenden alcanzar dentro del Máster habilitante de Ingeniería Industrial en ICAI.

Por otro lado, cómo es lógico, también se va a desarrollar en este capítulo el contexto industrial con el que se han llevado a cabo las dos prácticas docentes que tienen por objeto este proyecto. El contexto industrial en el que se analiza y se estudia la implantación de la filosofía Lean es una planta de ensamblaje de piezas en línea dentro de Grupo Antolín, ya que cómo se explicará posteriormente, en esta empresa es donde el autor de este TFM se encuentra realizando sus prácticas internacionales.

Finalmente, se concluirá este capítulo explicando la estructuración del proyecto, teniendo en cuenta que el desarrollo de este TFM ha sido realizado de manera continua desde el mes de Octubre, en el cual se me fue asignado este proyecto, hasta la consecución e implantación de las dos prácticas docentes que se obtienen con el mismo. Para todo ello, se ha recopilado toda la información necesaria para crear estas herramientas de mejora continua, se han elegido los materiales y datos que harán falta para desarrollarlas, sabiendo analizar el problema que existe y dónde los alumnos presentan debilidad dentro de esta nueva metodología y filosofía de trabajo. Después de haber simulado con personas, se ha simulado con Arena para poder establecer tiempos y los posibles errores y cuellos de botella que se forman en el proceso. Para concluir, con todo este estudio se podrán planificar y organizar los guiones de las prácticas para consolidarlas.

## 1.1. ASIGNATURA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y FABRICACIÓN

En este documento se va a explicar la metodología llevada a cabo para elaborar mi Trabajo Fin de Máster titulado “*Creación de herramientas de mejora continua en la planificación logística industrial*”.

Con este trabajo se pretende reforzar los conocimientos de “*Lean Manufacturing*” adquiridos durante el Máster en Ingeniería Industrial, así como explicar el procedimiento de procesos con metodología Kanban. Por ello, se introducirá en este capítulo la asignatura de *Sistemas de Producción y Fabricación*, en la cual se van a implantar las herramientas docentes de mejora continua de procesos dentro de la planificación logística industrial.

La asignatura de *Sistemas de Producción y Fabricación* tiene asignados 6 créditos ECTS y es impartida durante el segundo cuatrimestre del primer curso del Máster en Ingeniería Industrial, perteneciendo esta asignatura al departamento de organización industrial de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid (ICAI).

La unidad didáctica de la que versa este Trabajo Fin de Máster viene explicada y organizada en la guía docente de la asignatura, y a continuación se puede observar:

<b>Tema 5: LEAN MANUFACTURING</b>
<p><b>5.1</b> Principios Lean.</p> <p><b>5.2</b> Análisis del valor de los procesos.VSM.</p> <p><b>5.3</b> Factores clave del Lean. Proveedores, Layout, Inventario, Programación, Calidad, Delegación de poder.</p> <p><b>5.4</b> Técnicas de resolución de problemas. SMED, Gestión visual, 5S, TPM, Takt time, Balanceado, Kanban, Just in Time.</p>
<p><b>9 horas clase + 5 horas resolución problemas + 4 horas resolución de casos</b>  <b>2 horas práctica CADENA MONTAJE en laboratorio</b>  <b>2 horas práctica FABRICACIÓN FLEXIBLE en laboratorio</b></p>

**Ilustración 1. Organización de la unidad didáctica de Lean Manufacturing**

La filosofía de trabajo que motiva el “*Lean Manufacturing*” se basa en una serie de conceptos y técnicas implementadas para eliminar el desperdicio de forma que el proceso de producción sea más eficiente. Esta novedosa forma de trabajar permite la producción “*Just in Time*” así

como la entrega de productos y servicios en el tiempo y forma demandada. Esta filosofía está motivada por la cultura del cambio continuo y conduce a una nueva forma de producir en la cual se planifican los recursos empleados de manera que el desperdicio sea mínimo.

La forma de trabajar aplicando esta filosofía consiste en eliminar todas aquellas actividades que no aporten un valor añadido al proceso productivo, para que se consiga optimizar al máximo el tiempo de fabricación, es decir, el tiempo que tarda un proceso de producción en salir como producto o servicio final desde que se comienza a trabajar en él. Es muy importante analizar y mejorar cada proceso de forma continua para que la línea de producción en su conjunto sea más eficiente.

Esta metodología intenta mejorar el proceso de producción, optimizando el tiempo de fabricación para producir productos y servicios con una alta calidad y cumpliendo con los tiempos de espera comprometidos con el cliente. Todo el proceso en su conjunto debe satisfacer las necesidades del cliente, sin que, por la mejora del mismo, el producto o servicio final sufra un incremento del precio de venta al consumidor, es decir, es un compromiso de los encargados del proceso de producción fabricar con la optimización de costes y tiempo para ofrecer al cliente un producto de la máxima calidad.

Por lo tanto, los procesos con metodología Kanban son una herramienta para controlar el ritmo de producción de los sistemas de producción y fabricación, de forma que se controla el ritmo de producción mediante el reemplazo de lo consumido. Así, solo se fabrica cuando es necesario, es decir, se evita producir cuando no es necesario y el por tanto favorecer el desperdicio.

El término Kanban hace referencia a la palabra japonesa, traducida al español como “señal”, ya que es un método visual en donde se puede apreciar el flujo de trabajo del conjunto de tareas de un proceso productivo. Es así como todos los miembros de un equipo están al corriente del estado del trabajo, ya que es una metodología gráfica de los diferentes indicadores visuales de las etapas de un proceso, donde se utilizan, por ejemplo, tarjetas de colores para hacer distinciones entre las distintas tareas y las fechas de finalización de cada una de ellas. Esta metodología es tan importante y utilizada hoy en día porque permite aumentar el rendimiento de los procesos de fabricación y producción, identificando los cuellos de botella y eliminando todo aquello que no aporte valor a dicho proceso productivo.

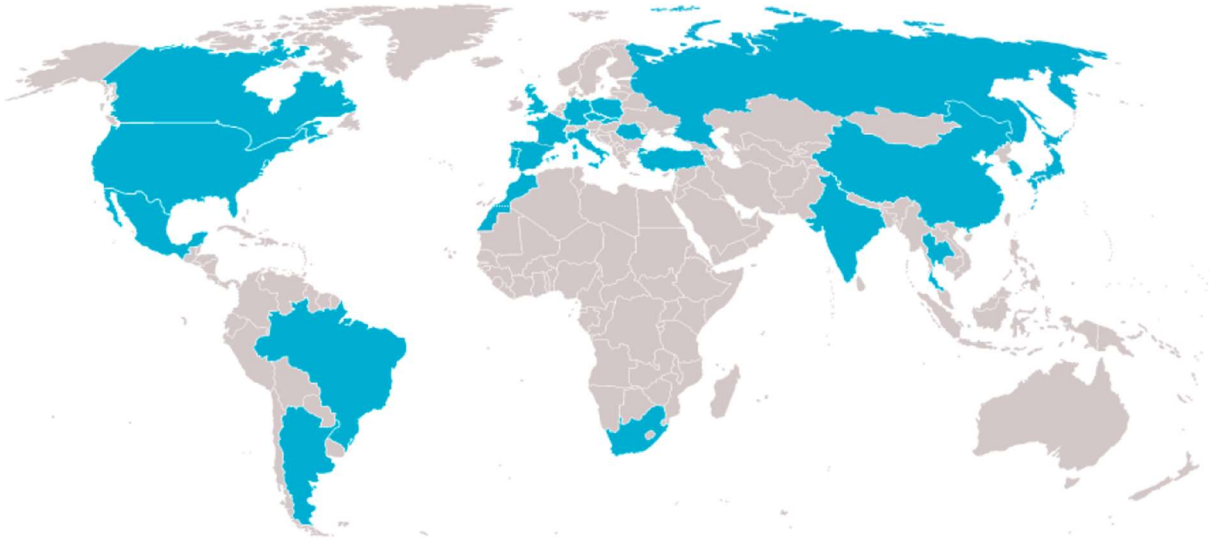
El fin último de este trabajo es la creación de herramientas de mejora continua en la producción logística industrial, mediante las cuales se van a implementar prácticas docentes con las que los alumnos de primero de Master en Ingeniería Industrial en la asignatura de Sistemas de Producción y Fabricación van a trabajar con un proceso de producción Kanban simulado en “Arena”, y con el cual se pretende que se refuercen conceptos de “*Lean Manufacturing*” con la finalidad de obtener mejores resultados en la evaluación final de esta materia. Además, los alumnos comprenderán mejor la dinámica de esta herramienta de “*Lean Manufacturing*” analizando la importancia del rendimiento en las procesos productivos, y cómo se organizan éstos para que sean lo más eficientes posible.

## 1.2. GRUPO ANTOLIN

En este subcapítulo, se va a explicar el contexto industrial con el que se han llevado a cabo las dos prácticas docentes que tiene por objetivo este proyecto. Se ha elegido Grupo Antolín porque es una empresa en la que el autor de este TFM se encuentra realizando sus prácticas internacionales, y que por tanto puedo extraer y vincular importante información acerca de cómo se implanta la metodología Kanban en la planificación logística industrial.

Grupo Antolín es uno de los proveedores de interiores automovilísticos más grandes del mercado mundial, siendo número uno a nivel internacional en lo que respecta a la producción de techos y, por tanto, proveedor de uno de cada tres coches fabricados en el mundo. Esta empresa tiene presencia en 26 países, con más de 160 plantas de producción y centros JIT (Just in Time). Esta posición le da a Grupo Antolín la capacidad de conocer perfectamente las necesidades de los clientes, siguiendo los movimientos de los fabricantes automovilísticos. Las cuatro regiones en las que Grupo Antolín divide su organización empresarial consisten en Europa, NAFTA, Región Asia- Pacífico y Mercosur formado por Argentina y Brasil.





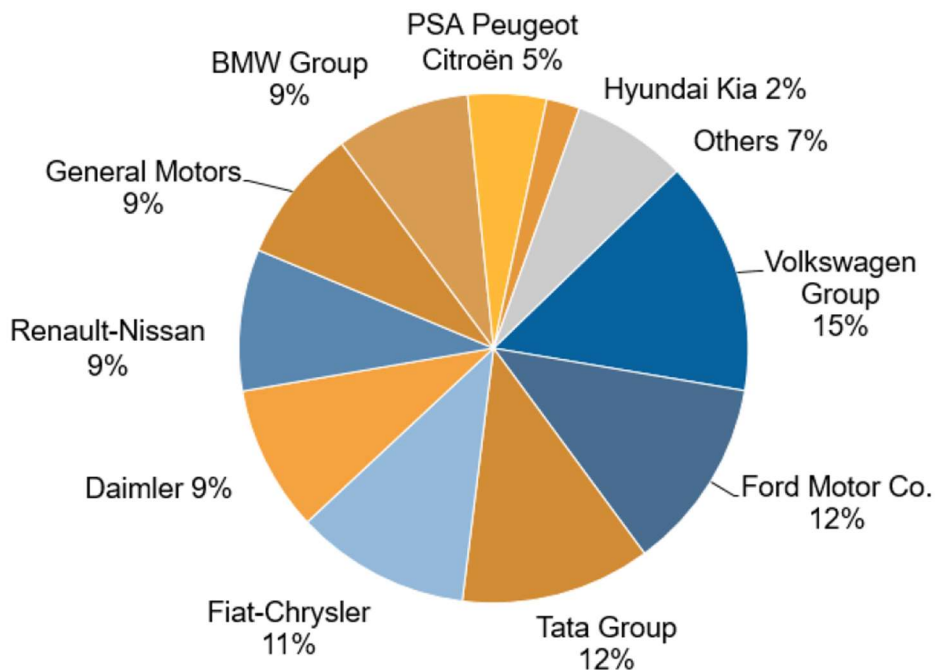
### **Ilustración 2. Posición internacional de Grupo Antolín**

Con más de 65 años de experiencia, Grupo Antolín (en adelante GA) ofrece productos con un alto valor añadido en cinco unidades de negocio diferentes: Techos, Puertas, Asientos, Iluminación y Salpicaderos. GA empezó como un taller de coches en Burgos (España). Con el tiempo, diferentes desarrollos tecnológicos como la fabricación de las juntas de dirección de goma- metal en 1950, han permitido a GA incrementar su tamaño centrándose en la fabricación de juntas de dirección y sistemas de suspensión de vehículos.

En 1968, se abrió la planta de fabricación Ansa- Lemforder S.A., la cual marcó el momento para diversificar GA. Aun así, la familia Antolín quiso expandirse globalmente en 1989, con una tasa de una nueva planta de producción extranjera abierta por año.

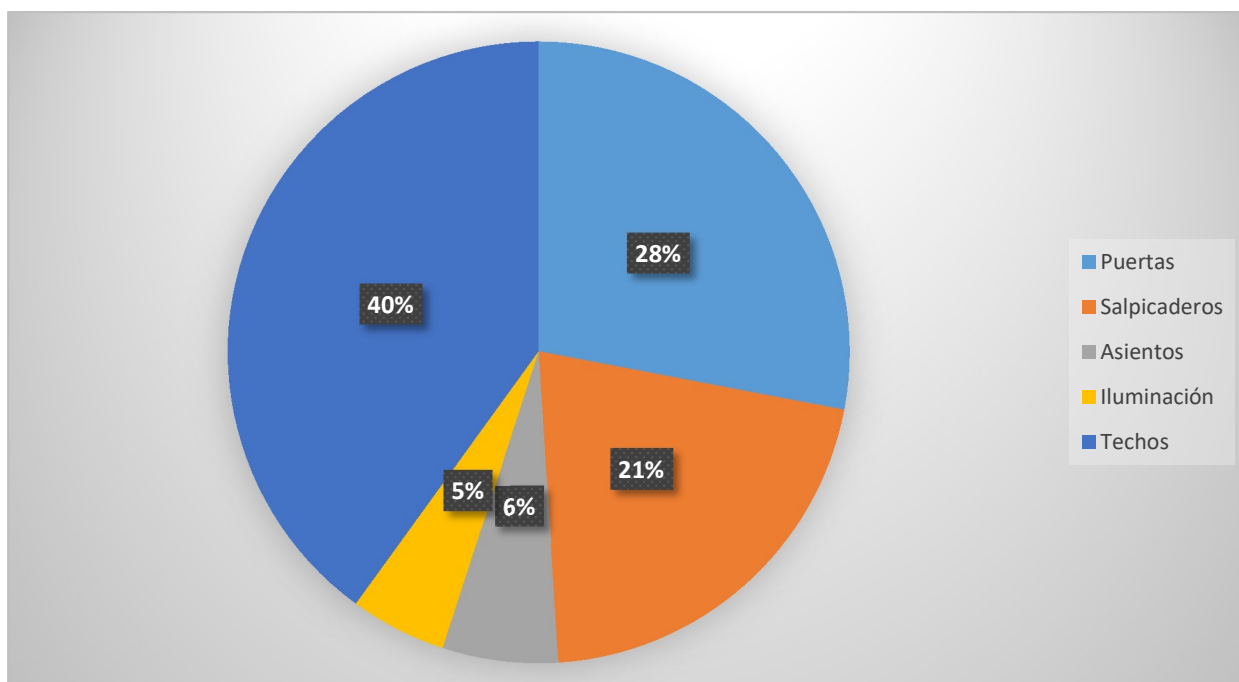
Hoy en día, GA está considerado una compañía multinacional líder en el desarrollo, diseño, y fabricación de los componentes interiores de la industria automovilística, son referentes en la fabricación de ciclo completo de interiores desde su concepción hasta su diseño y posterior desarrollo y validación por el cliente.

Considerando el amplio portfolio y grandes redes de trabajo en plantas de fabricación y centros JIT, GA tiene una gran lista de clientes, referentes en el mercado automovilístico mundial. En la siguiente ilustración, se muestra la división de clientes de GA alrededor del mundo durante los últimos años.



**Ilustración 3. Clientes Grupo Antolín**

La evolución de GA desde 2015, tras la adquisición de la compañía Magna, también de productos de interiores automovilísticos, hace que el negocio de GA se vea fortificado en sus cinco unidades de producción. A continuación se muestra el detalle de la división de cada una de sus unidades de negocio en porcentaje de producción.



**Ilustración 4. Distribución de unidades de negocio de Grupo Antolín**

Como se puede observar, los techos lideran la producción sobre las demás unidades, seguidas fuertemente por las unidades de puertas y salpicaderos, respectivamente. Además, en todas estas unidades de negocio se puede distinguir entre plantas de producción y centros JIT, donde se incluyen los procesos de ensamblaje para posteriormente disponer de productos finales en cada una de ellas.

### **1.3. ESTRUCTURA DEL PROYECTO**

Para hacer más sencillo el desarrollo del contenido del presente proyecto, se va hacer una introducción de los conceptos que se van a tratar en el mismo, para más adelante detallar aquellos que sean de importancia para la asignatura que es objeto de creación de prácticas docentes. Así mismo, se pretende que con el desarrollo de este documento, el continuo desarrollo de prácticas docentes esté cada curso académico presente en esta asignatura de este Máster.

Además, se establecerán las referencias existentes con otras universidades de prestigio internacionales en las que se están desarrollando este tipo de prácticas docentes, con las que se pretenden conseguir un ambiente dinámico y constructivo en clase, con el fin de afianzar los conceptos que basan este proyecto, siendo nuestra universidad otra más de las que se suman a la innovación pedagógica. Está comprobado que la implantación de esta novedosa metodología despierta el interés de los estudiantes, consiguiendo obtener que éstos mejoren sus resultados.

A continuación, se explicará el objetivo de las prácticas que se van a implantar, que no es otro que el de intentar enseñar la metodología Kanban y el pensamiento Lean mediante la utilización de un software específico soportado por el programa *ARENA* con el que se simulará el funcionamiento de la práctica en clase para tener una primera percepción de los resultados a obtener. El objetivo principal, por tanto, es concluir si el desarrollo de estas prácticas mejora los resultados de los alumnos de primero de Máster de Ingeniería Industrial en la filosofía que inspira el “*Lean Manufacturing*”, conocer las percepciones de los alumnos al terminar dichas prácticas y poder comparar los resultados obtenidos durante el curso académico en el que se implanta esta novedosa metodología con respecto al curso académico anterior, en el que se desarrollaba la enseñanza de esta materia de forma tradicional.

Posteriormente se detallará en profundidad cada una de las prácticas docentes a desarrollar durante la asignatura. Empezando con la práctica de “Pass the Post-its”, con la que se pretende poner en contacto a los alumnos con los principios y conceptos básicos del “*Lean Manufacturing*” y los procesos Kanban, así como que utilicen las principales fórmulas y herramientas para conocer qué marca el ritmo de producción, calculen el Lead Time, etc. En la segunda práctica, “Pass the Doors”, ya se intentará simular todo un proceso complejo de producción en línea basado en un proceso de ensamblaje de puertas de vehículos, teniendo en cuenta resultados reales en los cuales el autor de este proyecto se encuentra desarrollando sus prácticas curriculares, exactamente en la unidad de negocio de puertas de Grupo Antolín en Reino Unido.

En el siguiente apartado se analizarán los resultados de los alumnos, teniendo en cuenta su trabajo en el aula, así como el test posterior que se les realizará a través de Moodle. En este apartado se pretende realizar una crítica constructiva en la cual se discutirán las posibles mejoras en la implantación de las prácticas a posteriori.

Finalmente, se concluirán los resultados y los cambios a realizar para aprovechar al máximo la asimilación de los conceptos de la filosofía Lean en los alumnos, y se presentará la distribución y planificación de las prácticas en el aula, para que queden claros los objetivos que se pretenden conseguir y la forma en la que estos han logrado ser alcanzados.

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1. INICIOS DE LA FILOSOFÍA LEAN

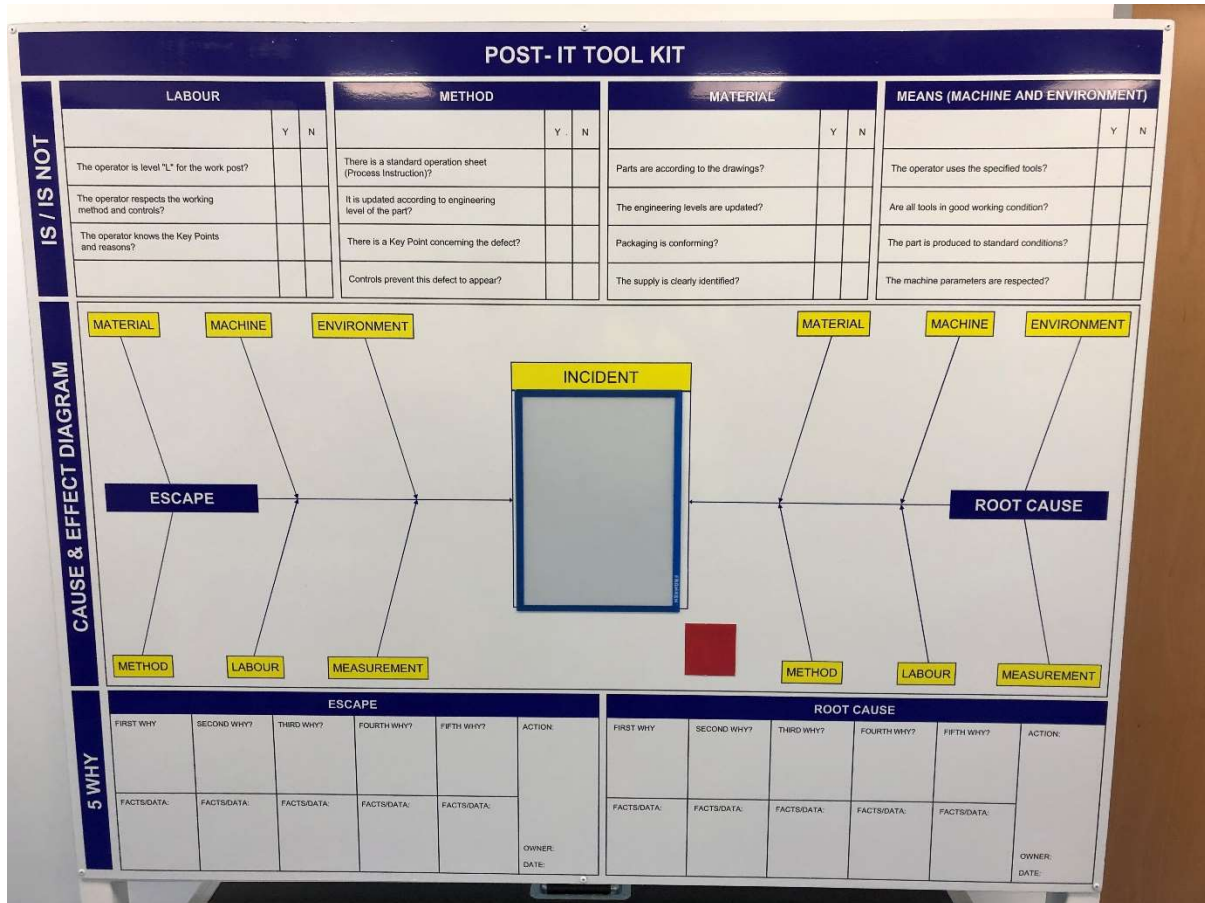
Los procesos Kanban consisten en un nuevo sistema de dirigir el flujo de trabajo que se inició en las fábricas de producción de Toyota. Se trata de un sistema de organización de la producción de forma visual, de manera que se deben visualizar un tipo de tarjetas Kanban en cada estación de un proceso de producción para controlar la cantidad de trabajo en curso (WIP), así se consigue con una simple tarjeta conocer el estado de la producción de forma rápida e in-situ.



**Ilustración 5. Tarjeta Kanban en una estación de una línea de producción**

Aunque la ilustración superior muestra solo una tipología de las diferentes etiquetas que se suelen utilizar en los procesos de producción con implementación del sistema Kanban, existen otras en las que además se pueden observar el flujo de trabajo, el límite de unidades que puede procesar por estación, y el Lead Time de la misma. Normalmente, en la industria se suelen utilizar las tarjetas Kanban incluidas en pizarras en las que se almacenan y se muestran aquellas en las que se muestran el proceso permanente en ese mismo instante.

A continuación se muestra un ejemplo de los tipos de pizarras Kanban que se utilizan en la industria, en este caso, se trata de una pizarra en la fábrica de ensamblaje de puertas de Grupo Antolín en Huyton (Reino Unido).



**Ilustración 6. Pizarra Kanban de Grupo Antolín para ensamblaje**

Como se puede observar en este ejemplo, esta pizarra que representa un diagrama de Isikawa está dividida en tres filas en las que se establecen los procesos que se están llevando a cabo y la consecución y no de los mismos, por otro lado se muestran las causas y los efectos de los diferentes incidentes que puedan ocurrir durante el proceso. Por último, se visualiza el análisis de los diferentes problemas que puedan ocurrir y se estudian mediante un sistema de “5 Porqués” con el cual se concatenan las posibles causas de los problemas que puedan existir hasta llegar al problema base y por tanto determinar la acción necesaria para solucionarlo.

De cualquier modo, en entornos menos especializados de la industria, se suelen utilizar otro tipo de pizarras Kanban más sencillas e ilustrativas, en las que los trabajadores son los encargados de mover y poner toda aquella información que reciben tanto por parte del cliente, como de estaciones de otras estaciones de trabajo, para configurar la planificación sobre el trabajo a falta de ejecutar, como el ejecutado hasta el momento, de forma que se establezcan también los plazos de cada uno de ellos. A continuación se muestra una pizarra Kanban que se



usa como herramienta de información en diversas industrias menos especializadas para determinar las tareas de sus trabajadores de forma simple e ilustrativa:



**Ilustración 7. Pizarra Kanban sobre órdenes de producción**

En definitiva, cuando se habla de “*Lean Manufacturing*”, es evidente pensar en el modelo de producción de Toyota y en lo que ha conseguido y está consiguiendo con su éxito. Por lo tanto, al pensar en el Sistema de Producción de Toyota (TPS), hay que relacionarlo con un modelo de producción que se caracteriza por su visión a largo plazo y por una política de empresa ética ampliamente establecida dentro de la misma.

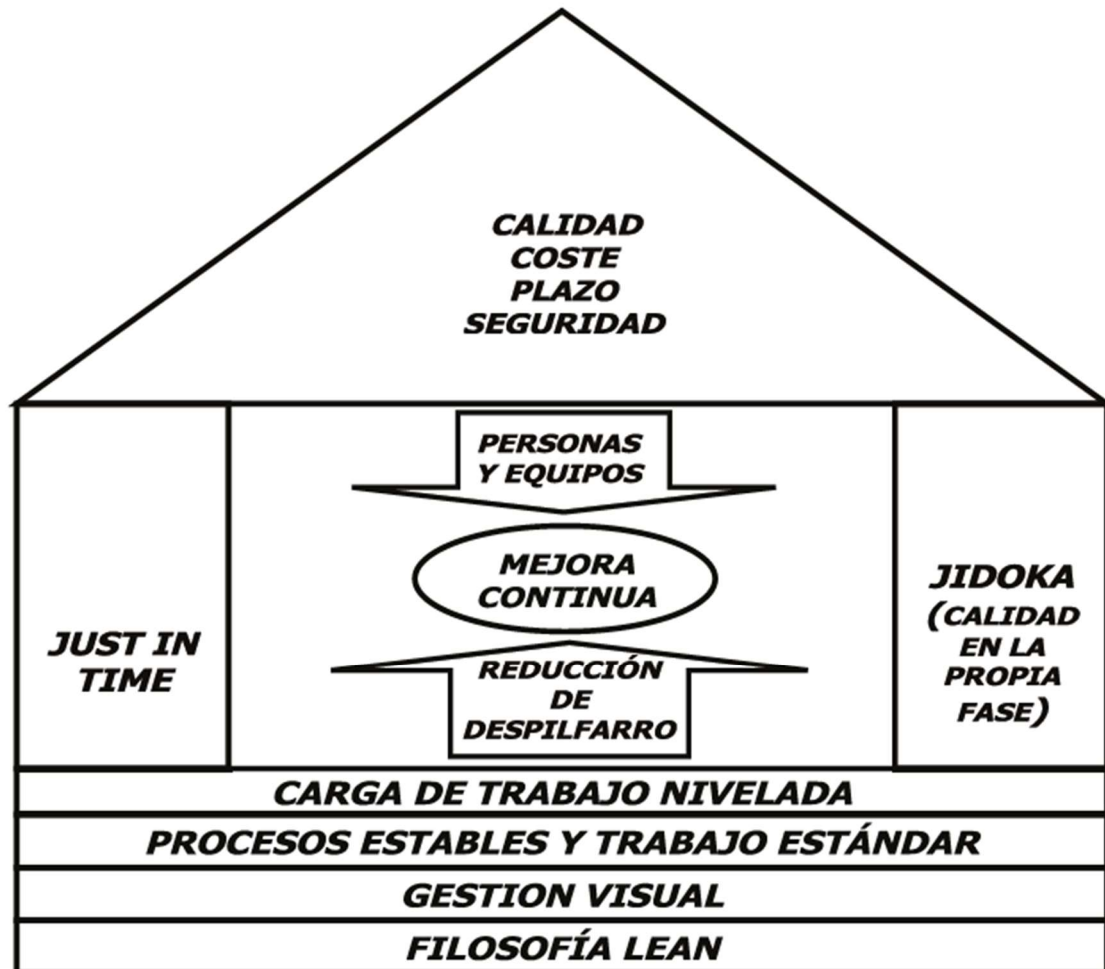


Ilustración 8. La casa del TPS

Este sistema de producción es representado por una casa que se empieza a construir desde sus cimientos. Estos cimientos darán estabilidad y fortaleza al sistema a largo plazo con una gestión de sus recursos eficiente y con una responsabilidad social corporativa evidente.

En el interior de la casa se encuentran los recursos humanos y materiales, organizados de forma que se gestione eficazmente y además se evite el despilfarro. Dicho concepto se explicará ampliamente en el apartado de *Metodología*, analizando los conceptos que pueden ser considerados como “Valor No Añadido”, y por tanto no aportan ningún valor al sistema en su cadena de valor.



## 2.2. ESTADO DE LAS PRÁCTICAS EN CLASE EN ICAI

Actualmente, en la asignatura de “Sistemas de Producción y Fabricación”, en adelante “SPF”, se están impartiendo los conocimientos relacionados con el “*Lean Manufacturing*” para capacitar a los alumnos de Máster en Ingeniería Industrial de desarrollar el desempeño de su futuro profesional de forma más efectiva.

Durante el curso académico 2017/2018 se implantó una práctica de laboratorio sobre el “Control Estadístico de Procesos”, donde se buscaba mejorar los conocimientos de los alumnos en este aspecto de la industria, un tema esencial para cualquier ingeniero encargado de la calidad de un proceso productivo. Se comprobó que, con la realización de esta práctica, se mejoraron los resultados obtenidos por los alumnos con respecto al año anterior. Por este motivo, con el objetivo de poder mejorar también los conocimientos, y por tanto los resultados de los alumnos en lo relacionado con el “*Lean Manufacturing*” y los procesos Kanban, se van a crear prácticas docentes en el contenido de este trabajo, donde se trabajará con los conceptos que están relacionados con esta materia, y se interactuará con el programa “Arena” para simular el proceso de producción que se trabajará durante la práctica.

Además, cabría destacar que los modelos educativos que buscan cualificar para el campo laboral a sus alumnos, están utilizando cada vez en mayor medida prácticas de laboratorio donde se pueden aplicar los conceptos teóricos aprendidos en clase, obteniendo mejores resultados y mejorando las competencias de los alumnos antes de acceder al mercado laboral. Las mejores universidades de todo el mundo, a las que debemos seguir en esta materia, están aumentando la materia práctica de las asignaturas frente a la teórica. Por otro lado, complementar esta nueva forma de desarrollar conceptos con esta metodología con visitas a plantas de producción como ya se está haciendo en la asignatura de “SPF”, hace conocer de primera mano cómo se trabaja en las líneas de producción donde se utiliza la metodología “*Lean Manufacturing*”.

Por todo lo citado anteriormente, parece bastante contundente crear y desarrollar prácticas que plasmen los conocimientos teóricos en simulaciones de procesos industriales. En este aspecto, se van a crear prácticas de laboratorio que apliquen los conceptos de “*Lean Manufacturing*” y la implementación de los procesos Kanban para la asignatura de SPF de 1º de Máster en Ingeniería Industrial, como también se hizo con la creación de la práctica que aplicaba los conceptos de “Control Estadístico de Procesos”, para analizar posteriormente si mediante la

divulgación de esta nueva metodología se mejoraban los conocimientos y los resultados de los alumnos al acabar el curso académico.

En la implantación de las prácticas docentes se va hacer referencia a experiencias docentes documentadas en el libro *“Kanban in Action”* de *Marcus Hammarberg* y *Joakim Sudén*. Además se van a tener en cuenta diferentes artículos relacionados con el aprendizaje en las aulas de los sistemas productivos con metodología Kanban.

### 3. MOTIVACIÓN

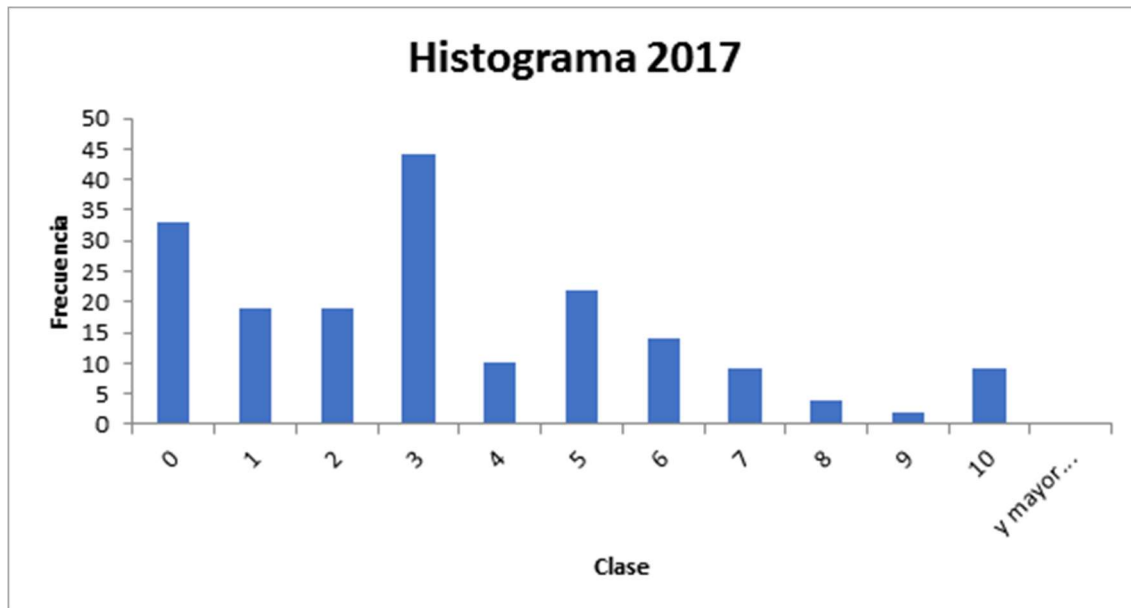
Como se ha comentado en los apartados anteriores, la metodología práctica obtiene mejores resultados académicos en los alumnos, ya que plasma de forma más eficiente los conceptos teóricos adquiridos, así como el diseño y desarrollo de la resolución de un problema óptimamente. Sin embargo, sí es conveniente reforzar los conocimientos aplicados en la práctica previamente para poder aprovechar la metodología práctica al máximo.

Siguiendo el ejemplo de las universidades más vinculantes a nivel internacional, se apuesta por la realización de innovadoras prácticas de laboratorio, ya que prueban haber obtenido mejores resultados entre sus alumnos, tanto en el ámbito académico como en el profesional. Igualmente, el objeto de este Trabajo Fin de Máster es el de aprovisionar de las herramientas necesarias a los alumnos para que puedan realizar en tiempo y forma las acciones previstas para la consecución efectiva de dicha práctica.

La motivación de este trabajo consiste en conseguir que los alumnos de la asignatura de SPF busquen obtener la máxima enseñanza de aplicación de los conceptos de “*Lean Manufacturing*”, sigan provechosamente el guion de prácticas para aplicar los conceptos correctamente; y, por último, contesten a las preguntas previas y posteriores a la práctica para recomendar estudiar los conceptos de la práctica antes de la realización de la misma, ya que de esta forma no se perdería tiempo a la hora de comprender conceptos básicos de la misma, y se podría dedicar más tiempo a analizar situaciones complejas, de las cuales se pueden sacar grandes conclusiones para tener una visión del conjunto de la metodología Kanban.

Para establecer un punto de inicio, como nivel inicial de la materia se tomará como referencia las calificaciones obtenidas por los alumnos en el examen final de mayo del curso 2017/2018, aparecerá al final de este proyecto como *Anexo III*. Los resultados de los alumnos en el problema referente a nivelación de estaciones de trabajo en procesos industriales con metodología Kanban serán facilitados por el Departamento de Organización Industrial de la escuela.

A continuación, se muestra en forma de histograma las calificaciones de los alumnos en el curso 2017/2018, en el examen final de la asignatura de Sistemas de Producción y Fabricación:



**Ilustración 9. Notas de los alumnos en examen de equilibrado de línea**

Como se puede observar en el histograma, los alumnos en el curso 2017/2018, obtuvieron unos resultados bastante bajos en la materia correspondiente a la nivelación de una línea de producción con metodología Kanban, ya que la mayoría obtuvieron una nota alrededor del 3, seguido de una puntuación nula en el ejercicio. Por lo tanto se puede decir que tres cuartas partes de los alumnos que realizaron dicho examen no superaron los conocimientos requeridos que el ejercicio intentaba evaluar.

Así mismo, al tratarse de diseñar un nuevo modelo práctico para afianzar los conceptos del “*Lean Manufacturing*”, antes de darle formato definitivo a este guion de prácticas se simulará con “*ARENA*” para obtener los resultados teóricos y poder compararlos posteriormente con los experimentales. Los resultados experimentales serán recogidos de una planta de producción en serie en la cual me encuentro realizando las Prácticas Internacionales, concretamente en la *Unidad de Negocio de Puertas de Grupo Antolín* en Reino Unido. Los resultados experimentales recogidos en planta, son los que los que simularán a los alumnos cuando realicen la práctica en clase, divididos en grupos, y donde cada miembro de un equipo tendrá una función determinada, como también se tiene en la producción serie de la planta.

Para familiarizar al alumno con la metodología Kanban, la forma de realizar las prácticas será progresiva, es decir, se empezará con un modelo de simulación industrial sencillo donde se comprendan conceptos básicos como conocer el tiempo de fabricación y el cuello de botella de

una línea de producción; y posteriormente, ser capaces de diferenciar entre procesos *pull* y *push*, cuantificar y analizar el “*Throughput*” y el “*Work In Proccess*” mediante el seguimiento del guion de prácticas creado para ello.

Finalmente, hay que señalar que en los apartados posteriores se van a explicar los recursos empleados para poder desarrollar efectivamente esta práctica de laboratorio, ya que en la motivación de este TFM está incluido también el desarrollo y el diseño del software necesario, así como preparar todos los recursos y documentos necesarios para la realización de la misma.



## 4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

A continuación, se van a comentar los objetivos que se pretenden conseguir con la realización de este TFM.

En primer lugar, se pretende afianzar los conceptos de “*Lean Manufacturing*” y de los procesos Kanban en los alumnos de primero de Máster en Ingeniería Industrial, a través de las prácticas de laboratorio impartidas en la asignatura de SPF. Durante estas prácticas de cien minutos, los alumnos deberán seguir un guion donde se les demandará las acciones a tomar en cada fase de la misma, simulando en cada una de estas fases los distintos pasos a seguir en la planta de ensamblaje de puertas de *Grupo Antolín* en Reino Unido.

Otro objetivo de este TFM es el estudio intensivo de los alumnos de la metodología Kanban, así como los procesos productivos con uso de “*Just in Time*”, todos ellos relacionados con la materia impartida en clase de SPF, y dentro del marco académico del “*Lean Manufacturing*”. Como ya se ha comentado con la nueva metodología se potencia todas las actividades que aportan un valor añadido al proceso de producción, en detrimento de aquellas actividades que no aportan valor alguno y que crean desperdicio dentro del proceso.

Por lo tanto, el objetivo fundamental de este proyecto es ver en la realidad el funcionamiento de un proceso Kanban, así como comprender los principios en los que se basa esta metodología. Formar al alumno para que forme parte del proceso de producción es una tarea innovadora que se incluye también dentro de los objetivos de este trabajo, ya que va a poder experimentar cómo varían los conceptos relacionados con el tiempo de fabricación, el trabajo procesado y la demanda requerida en cada momento, para así poder relacionarla con procesos *pull* o *push*, comprendiendo las diferencias entre éstos.

Con el desarrollo del software necesario para la realización de la práctica, también se fomenta la familiarización más el programa de simulación “*ARENA*”, aunque este programa ya debiera ser familiar puesto que se han tenido asignaturas previas donde se debía utilizar para diferentes trabajos. Este programa de simulación, tomará los pasos en tiempo, forma y orden que se siguen en la línea de producción y ensamblaje de piezas de puertas de vehículos en la línea de producción serie de Grupo Antolín.

Finalmente, con la realización de este TFM se pretende desarrollar una herramienta de mejora continua en la planificación logística industrial, es decir, se va profundizar en la cadena de valor de los procesos productivos industriales, y al aplicarlos a los prácticos de los que versarán la práctica de laboratorio, se entenderán que tipo de actividades son las que marca el ritmo de fabricación de línea de producción y qué se puede hacer para incrementar dicho ritmo de producción, así como reforzar conceptos importantes dentro de la metodología “*Lean*”. En este sentido, el alumno podrá comprobar cómo varía el flujo de trabajo y el tiempo de fabricación cuando se sufre una variación de tiempo cada una de las actividades del proceso.



## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. HERRAMIENTAS Y CONCEPTOS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS

En este apartado se detallarán los conceptos que se usan en la industria donde se trabaja con filosofía Lean, en las cuales el principal objetivo es eliminar el desperdicio estableciendo un sistema eficiente de organización de la producción donde la calidad y el tiempo de entrega comprometido con el cliente sea cumplido. Las industrias están aplicando esta metodología por su facilidad de implantar, la consiguiente reducción de costes que conlleva, y por supuesto, por la gran aportación a su cadena de valor.

La cultura que motiva este pensamiento es la del cambio continuo, por tanto, esta presta especial interés en evitar el desperdicio de la mejor forma posible, para simplificar el tiempo de producción de cada una de las actividades que forman parte del proceso fabricación de una planta. Es por ello por lo que se intenta reducir el tiempo de fabricación, es decir, el tiempo total que una pieza es procesada en un proceso de fabricación desde que llega a la misma hasta que está en las condiciones para ser entregada al cliente. El hecho de tratar procesar en el mínimo tiempo posible y sin desperdicio, no debe conllevar a reducir la calidad del producto comprometido con el cliente, sino que este deber de ser mantenida en la aplicación de los principios básicos del *“Lean Manufacturing”*.

Concretamente la metodología estudiada permite orientar de manera más simplificada y clara las necesidades del cliente durante el proceso de fabricación, planificando la producción eficientemente, es decir, se aprovechan todos los recursos disponibles en tiempo y forma, evitando la posible aparición de errores. De cualquier modo, cuando un error sea visible, es necesario analizarlo y llegar hasta la causa raíz del mismo para que este no se vuelva a repetir en el futuro. La forma de llegar a este error, consiste en preguntarse en sucesivas ocasiones qué causa dicho error con la denominada norma de los *“5 Why’s”*.

Los principios y normas básicas que diferencian la filosofía Lean de las demás formas de producción consiste en una organización clara y simplificada de los recursos y estaciones de fabricación, controles visuales del estado del inventario y trabajo en proceso (WIP), producción contra pedido (sistema pull), es decir, es el cliente el que marca el ritmo de producción, por lo que se evita el stock. Y por último, y no por ello menos importante, es vital implementar y

sostener un sistema de información centralizado y conocido por todos los miembros de la cadena de producción.

### **5.1.1. LEAD TIME**

El Lead Time (tiempo de fabricación) es el tiempo que transcurre entre el inicio de un proceso hasta su finalización. Por lo tanto, para el cliente, el Lead Time es el tiempo entre la confirmación de su orden de pedido hasta su entrega final, teniendo en cuenta las condiciones entre el cliente y el proveedor para dicha entrega, dado que esta puede variar entre diferentes productos y clientes.

Se puede hablar de diferentes tipos de Lead Time teniendo en cuenta su propósito para fabricación y montaje del producto:

- 1) Material Lead Time (Tiempo de fabricación del material): es el tiempo entre la confirmación de una orden con un proveedor hasta recibirla, es decir, desde que se confirma la orden hasta que el receptor tiene el producto en sus manos.
- 2) Customer Lead Time (Tiempo de fabricación del cliente): es el tiempo que transcurre desde una orden de confirmación hasta la realización de la misma, ya sea esta su recepción o lanzamiento, dependiendo del acuerdo llegado entre ambos.
- 3) Production Lead Time (Tiempo de fabricación de la producción): es el tiempo que transcurre desde que se recibe el pedido para su fabricación hasta que es enviado como producto final, siempre y cuando todos los materiales estén disponibles cuando sean necesarios para su producción.
- 4) Cumulative Lead Time (Tiempo de fabricación acumulado): es el tiempo que transcurre desde que se confirma una orden hasta el lanzamiento de la orden de salida del producto, siempre y cuando todos los materiales hayan sido pedidos con antelación a su necesidad. Es equivalente a la suma de la del Material Lead Time y el Production Lead Time.

Además cabe diferenciar los conceptos de Production Lead Time y el Tiempo de Ciclo, ya que este último se refiere al tiempo empleado en completar un ciclo de una acción, es decir, finalización de una tarea específica desde su inicio hasta su fin. Por el contrario, el Production Lead Time, es el tiempo total que toma un proceso desde que se empieza a trabajar en él hasta

que se envía el producto si todos los materiales están disponibles en tiempo y forma cuando se requieren. En este último se incluyen los procesos de fabricación, ensamblaje, montaje que hacen que unos bienes se conviertan en un producto final para el cliente.

La importancia del Lead Time viene determinada en gran medida por el valor que el cliente le da al tiempo de entrega para su satisfacción. Desde el punto de vista de fabricación y montaje, el Lead Time está ligado directamente por la cantidad de inventario que existe en las diferentes estaciones dentro de la cadena de suministro, es decir, siempre y cuando hayan los recursos necesarios en cada caso, el Lead Time no sufrirá retrasos por falta de material. A veces, es necesario mantener un cierto nivel de inventario en las diferentes estaciones para prevenir posibles oscilaciones de recursos que puedan afectar al Lead Time del producto comprometido con el cliente.



**Ilustración 10. Los 7 desperdicios en producción**

De cualquier forma, el inventario es una de los 7 desperdicios que la filosofía Lean intenta evitar para construir un proceso totalmente eficiente. Entre los cuales se encuentran, además,

los defectos, el sobre procesamiento, la sobreproducción, las esperas, el movimiento innecesario de material y el transporte.

El inventario influye negativamente en el Lead Time cuando este es sobredimensionado porque requiere que gran cantidad de trabajadores se encarguen de moverlo, buscar espacio para almacenarlo, contarlo y mantenerlo en el tiempo hasta que este sea requerido. Por otro lado, el inventario puede obviar importantes oportunidades de negocio como problemas con el proveedor y problemas con el programa de lanzamiento de recursos requeridos en el tiempo que sean necesarios.

Cuando el almacenamiento de inventario se convierte en una práctica frecuente dentro de la empresa se corre el riesgo de que el producto almacenado caiga en obsolescencia cuando no es entregado al cliente en tiempo y forma.

En definitiva, para reducir el Lead Time es necesario mantener el stock sólo donde sea de vital importancia, es decir, en posibles cuellos de botella que marquen el ritmo de producción. Otra opción de reducirlo es la integración vertical. Esto consiste en intentar fabricar, ensamblar y producir internamente sin dependencia alguna de proveedores externos. Reducir los tiempos de ciclo conlleva a reducir el Lead Time, ya que con esto se pretende que haya el mínimo número de cambios dentro de un proceso siguiendo la metodología SMED.

Por otro lado, en cuanto a la eficiente utilización de los recursos materiales y humanos disponibles, éstos son una pieza clave del puzzle para mantener un Lead Time comprometido con el cliente fiable, y que equipos robustos y personas altamente cualificadas aportan un valor extraordinario a la cadena de valor del conjunto del sistema de producción.

Externamente, también es posible intentar mejorar los plazos comprometidos con los proveedores para reducir el Lead Time del proceso, centrándose en aquellos que tenga un largo plazo de entrega. Es importante, igualmente, que el proveedor se comprometa a mantener un cierto nivel de stock, llamado stock de seguridad, para poder hacer frente a cualquier contratiempo por parte de la cadena de producción del mismo. También es posible negociar con el proveedor el método de entrega de los materiales para hacer el proceso más rápido y eficiente.

En conclusión, reducir el Lead Time tiene un impacto muy valorado en la cadena de valor del sistema de producción de cualquier empresa, ya que esto conlleva reducir el inventario, y a su vez tener más liquidez en mano para el negocio en general. En muchos aspectos, también significa reducir el riesgo de convertirse los materiales en stock en obsoletos.

### **5.1.2. THROUGHPUT**

El Throughput es la cantidad de producto o servicio que una empresa puede producir y entregar al cliente final en un periodo determinado de tiempo. Las empresas con un Throughput elevado pueden tomar el control de su producto y servicio puesto que serán más competitivas que las que produzcan en menor nivel, apareciendo aquí lo que se denomina “economías de escala” en un lenguaje empresarial.

El término de Throughput es utilizado en “La teoría de las restricciones” para controlar el ritmo de producción del sistema de fabricación, así el ritmo de producción estará marcado por el elemento y/o estación más lenta dentro del sistema. El ritmo de producción de una fábrica está muy relacionado con el Throughput, cómo este es dirigido afecta directamente a la capacidad de fabricación de la misma. Aunque la fábrica oriente todos sus esfuerzos a producir continuamente sin ninguna interrupción, en este caso se está haciendo una organización teórica de la línea de producción, pero en la realidad este nivel de producción no es alcanzable por el sistema. Esto ocurre porque tanto los recursos humanos como los materiales necesitan descanso. Por ejemplo, la maquinaria necesita reparación, y esta reparación es llevada a cabo en un período de tiempo que no puede ser considerado productivo para el sistema que se está considerando.

El Throughput de un sistema de producción depende de cómo se organice su cadena de suministro con respecto a la relación existente entre sus proveedores, es decir, una buena relación entre estos y la empresa, hace que se cumplan los plazos establecidos entre ambos, que su cadena logística no se vea afectada por ningún contratiempo, y que pueda afectar tanto a la calidad como el Lead Time comprometido con el cliente.

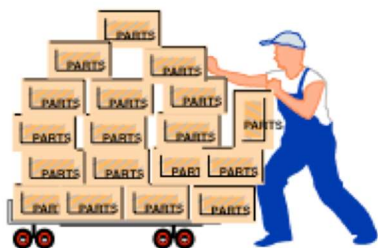
### 5.1.3. PUSH VS PULL

Como es sabido, históricamente el enfoque “Push” ha sido extendidamente utilizado por los sistemas de producción y fabricación en todo el mundo. Mediante este enfoque las previsiones para lanzar órdenes se basaban en estimaciones o suposiciones de datos históricos en la misma durante períodos de tiempo determinados.

Mientras que los sistemas con enfoque “Push” trabajan con sobreproducción y con inventario, los sistemas con enfoque “Pull” producen solo cuando el cliente lo requiere, es decir, es el cliente el que tira de la producción. Aunque hay que destacar, que incluso en sistemas “Pull” se trabaja con stock de seguridad para prevenir situaciones en las que puedan aparecer faltas de abastecimiento por parte de los proveedores.

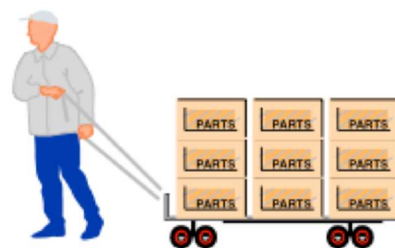
#### Push vs. Pull

**Make all we can  
just in case.**



- Production Approximation
- Anticipated Usages
- Large Lots
- High Inventories

**Make what's needed  
when we need it**



- Production Precision
- Actual Consumption
- Small Lots
- Low Inventories

**Ilustración 11. Push vs Pull**

Igualmente, se considera que en sistemas tipo “Pull” la comunicación entre departamentos es más fluida, ya que necesitan estar conectados para producir el producto en las condiciones establecidas con el cliente. Sin embargo, con el enfoque “Push”, se produce en cantidades

superiores para disponer siempre de producto disponible en situaciones de escasez. Es por ello, por lo que el desperdicio es un problema dentro de los sistemas “Push”, mientras que en “Pull” los inventarios son menores.

Por último, en sistemas de tipo “Push” se concentra la presión al final de las estaciones de trabajo, mientras que en sistemas “Pull” hay muy buena comunicación entre estaciones que favorece el flujo del material y el equilibrado de la línea de fabricación, de esta forma el sistema de producción puede responder rápidamente frente a cambios imprevistos en la demanda del cliente.

En la siguiente tabla se pueden observar las diferencias comentadas anteriormente de forma más clara:

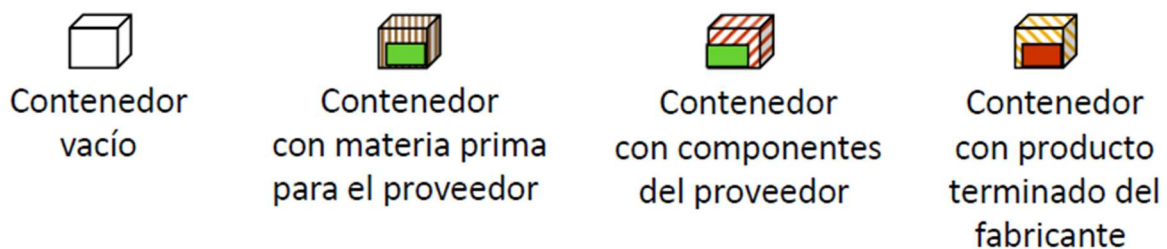
<b>PUSH</b>	<b>PULL</b>
Producción contra stock	Producción contra demanda
Filosofía de “fabricar por si acaso”	Filosofía de “fabricar solo y nada más que lo necesario”
Estaciones sin apenas flujo de información	Comunicación fluida entre estaciones
Últimas estaciones sobrecargadas	Estaciones niveladas proporcionalmente con el trabajo
Alto inventario	Solo stock de seguridad
Difícil reorganización con cambios de pedidos	Fácil reorganización con cambios en la demanda
Alto desperdicio	Eficiencia en todo el proceso de producción

**Tabla 1. Push vs Pull**

### 5.1.4. WORK IN PROGRESS (WIP)

El término Work in Progress (WIP) es un concepto usado en producción y en organización de sistemas productivos para describir y tener en cuenta el número de productos que se encuentran aún en una estación esperando a ser finalizados. El término WIP se refiere a productos que están siendo procesados, y que por tanto no se pueden considerar como producto final. Estos productos ya han incurrido en un coste y se encuentran estando procesados por alguna estación del sistema de producción. El WIP es un componente más del inventario en curso que computa como gasto dentro de un balance económico como activo del sistema. Ahora bien, este coste posteriormente será tratado como producto final.

El WIP se utiliza para describir el flujo de material sobre los costes de fabricación, siendo solo clasificados como WIP aquellos materiales que han iniciado a moverse a través del proceso del sistema de producción del mismo. Por tanto, los materiales que aún no han iniciado este proceso son denominados como materia prima (raw materials).



**Ilustración 12. Diferentes tipos de WIP**

Como se puede observar en la ilustración superior, los dos primeros contenedores no serían considerados WIP, puesto que todavía no se ha dado la orden de trabajar con ellos. Mientras que el tercer contenedor ya tiene componentes que han empezado a procesarse, y por tanto considerados como WIP. Por último, el último elemento ya contiene un producto totalmente procesado, que es considerado producto final y listo para ser enviado al cliente, por lo que tampoco puede considerarse como WIP.

La existencia de trabajo en proceso innecesario puede ser un indicador de desconfianza en el contexto industrial de su cadena de suministro, ya que este indicador mostraría una falta de planificación de la producción adecuada, sobreproducción en algunas estaciones, creación de inventario innecesario con las consecuencias que este aspecto puede conllevar, como posibles



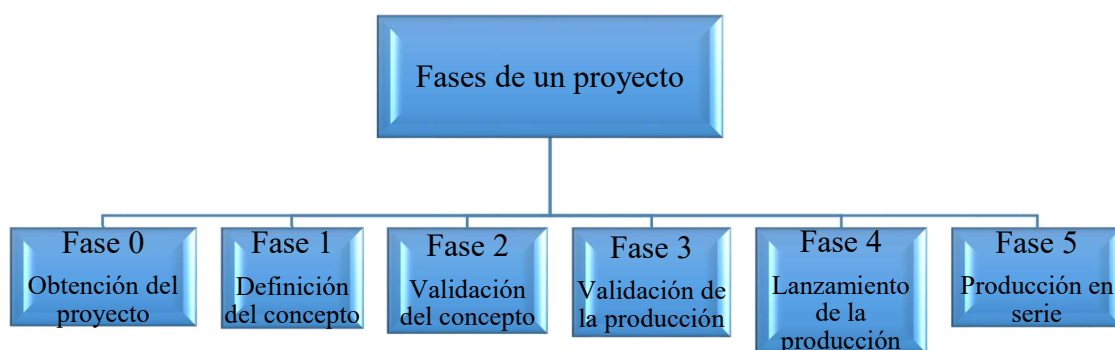
retrasos por el control y manejo de éste. Es por ello, por lo que como se ha explicado anteriormente, en sistemas de fabricación y producción con metodología Lean, debe ser la demanda la que marque el ritmo de producción siguiendo un enfoque “Pull”.

El WIP también representa un alto riesgo para el sistema de producción porque normalmente estos materiales ocupan espacio en lugares de trabajo de la fábrica, conlleva el empleo de tiempo por parte de los recursos humanos y materiales para el manejo y transporte de estos materiales, así como la menor eficiencia del modelo productivo debido a estos factores que afectan al correcto funcionamiento de un sistema Lean.

## 5.2. LEAN MANUFACTURING EN UNA PLANTA INDUSTRIAL

En el contexto industrial en el cual el autor de este proyecto se encuentra realizando las prácticas internacionales, hay que señalar que se trata de planta de ensamblaje de componentes del interior de puertas de vehículos. Por lo tanto, las tareas para los ingenieros de planta consisten en analizar y resolver los problemas que puedan surgir durante la producción y ensamblaje de dichos componentes durante la línea de trabajo.

La planificación y organización de un proyecto dentro de Grupo Antolín se divide en seis fases diferentes como se puede ver a continuación.



**Ilustración 13. Fases de un proyecto en Grupo Antolín**

En todas estas fases intervienen diferentes departamentos de la empresa, desde ingeniería de producto hasta ingeniería de calidad. Además, en las primeras fases de vida del proyecto intervienen ingenieros de diseño y CAD, que deberán validar el mismo con respecto a las especificaciones requeridas.

En Grupo Antolín, la tercera fase es una etapa fundamental dentro de la organización y ejecución del proyecto, ya que es en esta fase donde se analiza el ensamblaje de las puertas y donde pueden ser detectadas las diferentes deficiencias de las mismas. Por ello es necesaria una comunicación directa y fluida entre el encargado de planta de producción y los operarios que encuentran posibles problemas en el ensamblaje de las puertas para poder solventar dichas deficiencias.

Cuando se analiza un problema, se estudian diferentes soluciones para resolverlo, y además, se profundiza en la causa raíz del mismo para que no vuelva a suceder, es decir, hay que analizar insistentemente qué causas dan lugar a una desviación de las especificaciones comprometidas con el cliente. Finalmente se aplicará la solución más efectiva en términos de coste y ahorro de tiempo, siempre prevaleciendo la calidad del producto.

Todos estos problemas analizados durante la tercera fase del proyecto deben ser documentados con todos sus detalles y las acciones llevadas a cabo por producción para solucionarlos. Estos detalles deben ser claros para que sean de fácil aplicación por parte del equipo en planta. En Grupo Antolín se sigue un documento estándar para documentar todos los problemas surgidos durante la producción en planta.

Como conclusión, cuando un problema aparece en esta línea de producción, siempre se sigue la misma metodología anteriormente explicada. Para solucionar el problema, siempre se escoge la solución más eficiente para cada caso teniendo en cuenta variables como el coste, el tiempo y la calidad del componente.

En lo que respecta a la metodología Lean dentro de una planta de Grupo Antolín, ésta la hace más eficiente y con una estrategia más fuerte que la diferencia de otros proveedores a nivel internacional dentro del campo automovilístico. Para Grupo Antolín, Lean es más que una filosofía, pues le ha hecho líder mundial como proveedor de piezas interiores de coches, y por otro lado, le ha ayudado a mejorar la calidad de sus productos, así como a reducir costes de fabricación sin comprometer su margen de beneficio. Todo esto, ha sido posible gracias a una

implantación ordenada y organizada, y por supuesto con un equipo conocedor de la materia y liderado por personas con gran experiencia y liderazgo en la gestión del cambio.

Finalmente, un punto a recalcar en la gestión de esta filosofía fue la eliminación del desperdicio en aquellos procesos que lo requerían, ya que estos procesos consumían recursos, tiempo y dinero, sin aportar ningún valor a la empresa.



## 6. PRÁCTICAS A IMPLANTAR EN CLASE

En este capítulo se van a explicar las acciones a llevar a cabo para implantar las dos prácticas docentes en el curso 2019/2020 en la asignatura de Sistemas de Producción y Fabricación durante el segundo cuatrimestre del primer curso académico del Máster en Ingeniería Industrial en ICAI.

### 6.1. PRÁCTICA 1: “Pass the Post-its”

A continuación, se va desarrollar el análisis de la materia a tratar en esta práctica docente titulada “Pass the Post-its”, donde se explicará su diseño, implantación, ejecución y resultados posteriores de la realización de la práctica mediante el modelo de simulación correspondiente.

#### 6.1.1. CONTEXTO INDUSTRIAL DE LA PRÁCTICA

El principal objetivo y motivación de la implantación de estas prácticas radica en la necesidad de fomentar el aprendizaje en la materia de los procesos con metodología Kanban, materia que aún presenta falta de conocimiento en el conjunto de los alumnos.

Esta dinámica práctica se establece en un contexto industrial de fabricación JIT, donde la producción tiene un lay-out en línea, de forma que esta novedosa forma de trabajar permita la entrega de productos y servicios en el tiempo y forma demandada. Esta filosofía está motivada por la cultura del cambio continuo y conduce a una nueva forma de producir en la cual se planifican los recursos empleados de manera que el desperdicio sea mínimo.

#### 6.1.2. ORGANIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN

Esta práctica se basa en la simulación de un proceso industrial donde se pretende reforzar el conocimiento sobre la importancia del WIP (Work In Process), y por qué la variabilidad de este concepto limita la producción final. En esta práctica el parámetro que se analiza es el tiempo total que un lote de producto tarda en ser procesado por todas las estaciones dependiendo del tamaño del mismo.

Esta práctica se desarrolla considerando tres fases, en una primera fase se considera que el producto puede ser transmitido a otra estación cuando se completa un lote de 20 unidades; en una segunda fase el tamaño del lote es de 5 unidades; y por último, en la última fase el tamaño del lote es de 1 unidad, es decir, en cuanto se procesa un producto pasa de una estación a otra sin tener que esperar a que la misma estación acabe con un número determinado de elementos procesados.

El funcionamiento óptimo de la práctica consiste en que los 4 trabajadores escriban su número de matrícula completo en el post-it (los nueve dígitos íntegros) que les llega, y los 4 supervisores contabilicen el tiempo que le lleva a cada trabajador escribir su número de matrícula en una cara del post-it, dependiendo del tamaño del lote, así como controlar el WIP, para finalmente proporcionar el WIP medio. Por último, el cliente determina el tiempo total que el primer post-it tarda en completar el ciclo de producción, y también, por otro lado, el tiempo en el que el último post-it es entregado al cliente.

El objetivo que se persigue es conocer la importancia y la influencia que tiene el tamaño de lote cuando se fabrica en un proceso industrial en línea. Para así conocer qué ocurre con el WIP cuando se aumenta o se disminuye el tamaño de lote de la producción en línea.

Los alumnos se agruparán en grupos de 9 personas. Cuatro de los miembros del grupo son los encargados de ir procesando los diferentes post-its por lotes. Otros cuatro de los miembros del grupo se colocarán en frente de cada trabajador para que, junto con un cronómetro (puede ser el móvil personal), puedan medir el tiempo que este trabajador tarda en procesar el tamaño de lote requerido en la práctica, y controlar el WIP. El último miembro del equipo restante, medirá el tiempo que el primer post-it tarda en ser procesado por los cuatro trabajadores, y también el tiempo total que tarda el último post-it en ser procesado por el último trabajador.

Los cuatro encargados de medir el tiempo total que tardan los trabajadores en cada una de sus estaciones en procesar los diferentes tamaños de lote de los post-its introducirán los resultados en una hoja de Excel. También lo hará así el miembro del equipo que se encarga de medir cuando el primer post-it llega al final, y cuando finaliza todo el proceso.

La práctica se divide en tres fases:

- a) La primera fase se inicia simulando un lote de 20 post-its de los 100 post-its disponibles. El primer trabajador cogerá el primer post-it de los 20 del lote, momento en el cual el cronometrador pondrá en marcha su reloj, hasta que coja el veinteavo post-it y escriba sobre él su número de matrícula, momento en el cual el cometido del primer trabajador habrá acabado, y por tanto su cronometrador parará el reloj. Seguidamente seguirán con el mismo proceso los trabajadores segundo, tercero y cuarto, así como sus cronometradores. Y, por último, el encargado de medir el tiempo total del proceso de la llegada del primer lote y también de medir el tiempo que toma todo el proceso en su conjunto, empezará a contabilizar el tiempo desde que comienza el proceso hasta que acaba. En este caso, solo va a haber cinco lotes de tamaño 20 unidades.

Los cinco cronometradores apuntarán sus datos en la hoja Excel facilitada para comparar los diferentes resultados al final de la práctica.

- b) La segunda fase consiste en procesar otros 100 post-its pero ahora en lotes de 5. Por lo tanto, ahora el segundo trabajador podrá empezar a procesar el primer lote cuando acabe el primer trabajador de procesar el mismo. En este caso, habrá un momento en el que se esté trabajando en las cuatro estaciones, ya que cada una de ellas estará procesando un lote, pero igualmente los cuatro trabajadores contabilizarán el tiempo total que tardan los trabajadores en procesar los 100 post-its (MUY IMPORTANTE: no parar el reloj cuando se acaba un lote, sino cuando se acaban los 100 post-its). El encargado de medir el tiempo total del proceso, llamado cliente, tomará nota del tiempo en el que llegue el primer lote, y además el tiempo que tarda en llegar el último lote, es decir, el tiempo en acabar todo el proceso.

Los cinco cronometradores apuntarán sus datos en la hoja Excel facilitada para comparar los diferentes resultados al final de la práctica.

- c) La tercera fase consiste en procesar los 100 post-its por separado, sin la creación de lotes. Por lo tanto, los cronometradores contabilizarán el tiempo que emplean cada uno de los cuatro trabajadores en procesar los 100 post-its. Además, el cronometrador, llamado cliente, contabilizará tanto el tiempo en que termina el proceso el primer post-it, y también cuándo llega el último post-it al final, y por tanto termina el proceso.

Los cinco cronometradores apuntarán sus datos en la hoja Excel facilitada para comparar los diferentes resultados al final de la práctica.

### **6.1.3. CONOCIMIENTOS A ALCANZAR**

Los conocimientos que se pretenden obtener mediante el desarrollo de esta práctica consisten, por un lado, en la recogida de los siguientes datos:

- Tiempo de permanencia del primer lote (lead time) de los lotes de tamaño de 20, 5 y de 1 unidad.
- Tiempo de permanencia del último lote (lead time) de los lotes de tamaño de 20, 5 y de 1 unidad.
- Tiempo total en el proceso de los 100 post-its cuando el tamaño del lote es de 20, 5 y 1 unidad.
- Tiempo de cada lote en cada estación.
- Tiempo máximo y mínimo de cada tipo de lote en cada estación.
- WIP (inventario en curso en línea) medio

Por otro lado, se pretende que los alumnos comprendan por qué se está implantando el sistema de producción mediante la metodología Kanban en las fábricas manufactureras. Además, deberán entender de qué forma afecta esta metodología en el tiempo de entrega al cliente, conocer si se cumplen las estimaciones en dichos periodos de entrega, visualizar si los equipos y personas encargadas de cada estación de trabajo están trabajando a plena carga, o por el contrario si pasan gran parte del proceso de producción ociosos. También deberán aportar una visión crítica acerca de si con este nuevo modelo de producción se consigue establecer de forma clara cuáles son las prioridades del sistema en materia de producción para cumplir con el Lead Time. Por último, es muy importante que tengan una visión clara sobre si el proceso con la metodología Kanban aporta más transparencia al proceso.



En cuanto a los diferentes tamaños de lote que se plantean en el guion de la práctica, se pretende que los alumnos vean y comprueben con su propio trabajo en la práctica, cómo el *Trabajo en Proceso* (WIP) afecta al ritmo de producción de la tarea encomendada, en este caso, procesar post-its. Por lo tanto, al finalizar la práctica, podrán defender una idea sobre el efecto que tiene sobre el Lead Time y el WIP, el tamaño de los lotes con los que han estado trabajando, es decir, con sus resultados experimentales, podrán determinar si cuanto mayor sea el tamaño de lote, se favorece o no incrementar el ritmo del proceso para poder cumplir con periodos de entrega al cliente más ajustados.

En lo que respecta al conocimiento de los conceptos que se utilizan en un proceso de producción en serie, en esta práctica se afianzarán los conceptos de WIP (Work in Process), Lead Time, Colas, Cuellos de botella, etc. Todos estos conceptos ya habrán sido tratados en las clases teóricas de la asignatura de *Sistemas de Producción y Fabricación*, para que en la práctica se puedan identificar rápidamente los conceptos sobre los que deben trabajar para obtener los resultados pedidos en la práctica.

#### 6.1.4. RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE SIMULACIÓN

Para poder plantear con ajuste a la realidad la cronología de las prácticas a implementar en clase, se ha optado por utilizar el programa de simulación *ARENA*, con el cual se ha creado un modelo de producción en línea con cuatro estaciones, las cuales tienen sus propias singularidades y tiempos de trabajo como se puede ver a continuación:

<i>Unidad (s)</i>	Media	Desviación típica
<b>Trabajador 1</b>	4.5	1
<b>Trabajador 2</b>	3.5	0.5
<b>Trabajador 3</b>	4	0.7
<b>Trabajador 4</b>	4	1

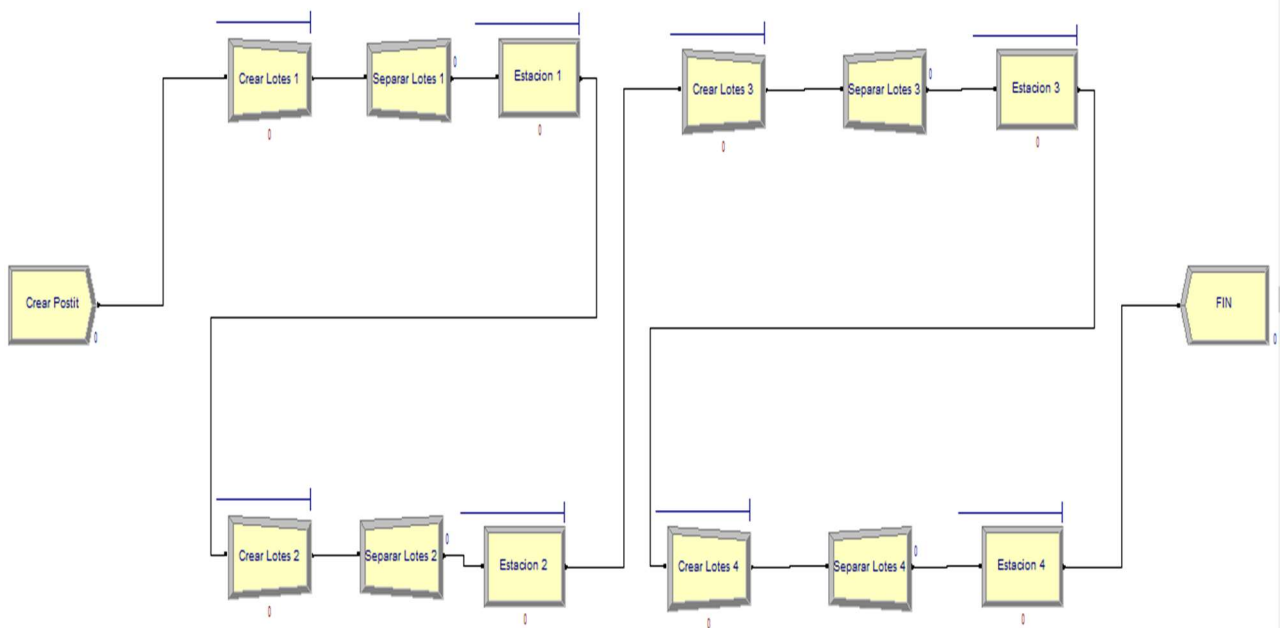
**Tabla 2. Parámetros de tiempo en cada estación de trabajo**

Como se puede observar, las unidades en cada estación son diferentes, dado que cada trabajador tendrá un ritmo de trabajo diferente en su tarea. Las unidades de tiempo están en segundos, y se distribuyen en el programa de simulación con relación a una distribución normal. Se escoge esta distribución puesto que representa la función estadística más acorde con la realidad de

trabajo dentro un proceso de producción donde todos los operarios trabajan con un ritmo medio centrado en la media general de todos los trabajadores que tienen la misma función, presentando además una pequeña desviación que se tendrá en cuenta en la discusión de los resultados.

El modelo que se emplea para simular la práctica docente propuesta para los alumnos de primero de Máster en Ingeniería Industrial, consiste en una serie de procesos en línea en los que, en cada uno de ellos existe un recurso que representa al trabajador que realiza su tarea. Además, en el modelo aparecen dos bloques muy importantes, que son los que se encargan de agrupar los lotes en las cantidades solicitadas por el cliente, y soltarlos de uno en uno, una vez el lote ha sido creado.

En la siguiente ilustración se puede ver el modelo creado para simular la práctica docente a desarrollar en el aula:



**Ilustración 14. Esquema del modelo en Arena para la primera práctica docente**

Al simular este modelo en una primera iteración, es necesario definir el número de entidades que queremos que sean procesadas por la línea de producción. Tal y como se define en el guion de la práctica, siempre se tomarán 100 unidades de post-its en sus diferentes variedades de lotes en cada parte de la práctica.

En primer lugar se quiso conocer, el tiempo que de media un post-it permanece en la línea de producción en cada uno de los diferentes lotes creados:

Tamaño de lote	Tiempo medio post-it en proceso	Tiempo mínimo post-it en proceso	Tiempo máximo post-it en proceso
20	16.2	11.66	20.08
5	16.14	12.72	18.95
1	16.19	11.23	22.3

**Tabla 3. Tiempo medio de una unidad de post-it siendo manipulada por operario**

Como se puede observar, de media el tiempo que un trabajador está operando con un post-it en la línea de producción es prácticamente igual en las diferentes agrupaciones que se ejecuten del lote, ya que al tratarse de una distribución normal la que define el tiempo de trabajo en cada una de las estaciones, al ser procesados 100 unidades de post-its, la media del mismo permanece constante en las distintas agrupaciones del lote. Por lo tanto, en este sentido no se puede extraer ninguna conclusión interesante para ser estudiada por los alumnos. Pero como sí que se comenta en las instrucciones para realizar la práctica, los alumnos tendrán que ir anotando los tiempos que toman cada uno de los lotes en ser procesados por la línea de producción, para luego estudiar cuáles son los tiempos máximos y mínimos para los diferentes tamaños de lote.

Por otro lado, es interesante conocer los resultados del tiempo medio que los post-its están en cola, es decir, el tiempo en el cual hay post-its dentro del proceso pero no están siendo procesados por ninguna estación de trabajo. Este tiempo es conveniente que sea pequeño, puesto que como se comenta en la teoría de los modelos de producción eficientes referentes al “*Lean Manufacturing*”, es un parámetro que debe ser reducido al máximo, ya que conlleva a una cultura del desperdicio, cultura que está en las antípodas de la que se intenta explicar en este trabajo.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos respecto al tiempo medio de espera del conjunto de post-its:

Tamaño de lote	Tiempo medio de espera del proceso	Tiempo mínimo de espera del proceso	Tiempo máximo de espera del proceso
20	424.23	245.69	602.45
5	226.27	51.54	395
1	179.13	0	356.39

**Tabla 4. Tiempo medio de espera del conjunto de post-its en la línea de producción**

En esta ocasión, sí se puede observar que existe una fuerte relación entre el tiempo medio de espera del conjunto del proceso directamente proporcional al tamaño de lote, es decir, en cuantas menos unidades se quiera agrupar un lote, menor tiempo de espera tendrán que sufrir los post-its dentro del proceso. Por otro lado, cabe destacar que el tiempo medio de espera del proceso en los tres casos (medido en segundos) parece alto, pero es así, porque el programa de simulación, tiene en cuenta las primeras 100 unidades de post-its desde el principio en espera, por lo tanto, para nosotros este tiempo no va a ser tenido en cuenta, ya que evaluaremos el tiempo en procesar una unidad, en el momento que el primer trabajador toma el primer post-it, como se describe en el guion de la práctica.

Por supuesto, es muy importante estudiar el Lead Time, ya que como se ha explicado anteriormente, este tiempo es uno de los factores más relevantes dentro del estudio de la eficiencia y calidad de una línea de producción. El Lead Time, es el tiempo que una cantidad de materiales tardan en ser procesados dentro de un proceso de producción, desde que entra al proceso hasta que sale como producto definitivo para ser entregado al cliente. En este sentido se pueden estudiar los siguientes resultados:

Tamaño de lote	Lead Time medio	Lead Time mínimo	Lead Time máximo
20	440.43	261.42	618.12
5	242.41	65.6	410.37
1	195.32	15.75	373.72

**Tabla 5. Tiempo total empelado para procesar las 100 unidades de post-its**

Con estos resultados, se puede observar que cuanto menor sea el tamaño del lote, menor será el tiempo total que tome el proceso en llegar a su fin. Lo cual está vinculado con los resultados anteriormente analizados, ya que, ahora sí que se puede concluir que al limitar el tamaño del lote, y por lo tanto que haya menos trabajo en curso en el proceso (WIP), menor será el Lead Time, y por tanto menos tiempo estará un producto dentro del proceso de producción.

Además, este tiempo es muy útil para tener una estimación a la hora de organizar el cronograma de la práctica, ya que el máximo de tiempo que puede durar el proceso de llevar a cabo las tres partes en las que se divide la práctica asciende a los 1.402,21 segundos, aproximadamente 23 minutos, y teniendo en cuenta los tiempos de cambio de una parte de la práctica a otra, más la breve explicación del profesor, se puede estimar, una duración total de la práctica de 30 minutos aproximadamente.

Como se ha comentado anteriormente, en esta práctica tiene especial relevancia el estudio del trabajo en curso (WIP) durante todo el proceso, ya que éste está fuertemente relacionado con el Lead Time, como se ha comentado anteriormente en el análisis de los resultados. Con respecto al estudio del total de producto en curso en función del tamaño del lote se pueden observar los siguientes resultados:

Tamaño de lote	Número total procesado	WIP
20	100	61.33
5	100	47.5
1	100	41.23

**Tabla 6. WIP en el proceso de producción**

Como se puede observar, y como se podía suponer con respecto al análisis de los resultados del Lead Time, tiene sentido, entonces, que al disminuir el tamaño de lote, también se reduce el trabajo en curso, y por tanto, habrá menor número de materiales en mitad del proceso cuando este se pretende que se realice siguiendo una metodología Kanban, en la cual se debe ahorrar en la realización de trabajos que no aporten valor a la cadena de producción.

Hay que tener en cuenta que un WIP elevado favorece normalmente los retrasos en las entregas comprometidas con el cliente, ya que no se cumplen con las estimaciones previstas al tener que procesar y trabajar con material que no está previsto manejar durante el proceso de producción. El hecho de haber grandes lotes implica que no queda claro que se debe hacer con los productos que no están procesados completamente, ya que estos ocupan lugar, tiempo de transporte para los operarios y por tanto, no quedan claras las prioridades en cuanto al almacenaje temporal de los mismos.

Cuando se trabaja con tamaños de lote moderados, es importante utilizar uno de los elementos más relevantes de la metodología Kanban, las tarjetas de identificación y visualización del estado del proceso, ya que con estas es posible conocer el estado del trabajo hasta ese momento,

para sí poder tomar decisiones adecuadas sobre qué hacer después con el material en curso. También, estas tarjetas incluyen la descripción del tipo del trabajo a realizar con el material que identifican, con sus respectivas fechas límite de actuación y con la identificación del operario que debe actuar sobre el mismo.

Como conclusión se puede establecer que cuanto menor sea el trabajo en proceso (WIP), más rápido será el flujo del material a lo largo de la línea de producción, es decir, más bajo será su Lead Time.

Centrándonos ahora en el tiempo de espera delante de cada una de las cuatro estaciones de trabajo, se pueden observar los siguientes resultados:

Tamaño de lote	Tiempo medio cola estación 1	Tiempo medio cola estación 2	Tiempo medio cola estación 3	Tiempo medio cola estación 4
20	189.64	32.74	38.09	38.89
5	174.77	6.9	9	9.48
1	177.2	0.12	0.41	1.4

**Tabla 7. Tiempo de espera medio en cada uno de las cuatro estaciones de trabajo**

Es visible que como ocurría en los análisis anteriores, cuanto más pequeño se hace el lote de trabajo, menos tiempo de espera habrá de material delante de cada estación. Se puede observar que realmente los datos relevantes están a partir de las estación 2, ya que la primera contabiliza todo el material con el que se debe procesar durante el período de producción aunque todavía no hayan llegado a ser procesados por el primer trabajador. Por lo tanto, no será objeto de tratamiento de análisis el tiempo medio de espera de la estación 1, ya que las órdenes de producción llegan a esta estación a la vez, y por tanto solo empezarán a contabilizar cuando entran a la línea de producción y entonces son procesados por la estación 1, y no antes.

Otra observación que se puede establecer es que los tiempos de espera van aumentando levemente conforme van superando estaciones, de esta forma el tiempo de espera menor se encuentra en la estación segundo y el más alto se encuentra en la última estación. Por tanto, aunque los tiempos de trabajo de cada trabajador en cada estación se han establecido con una distribución estadística normal, se refleja en estos resultados que el cúmulo de trabajo se va agrupando en la última estación, y mayor será este tiempo de espera cuanto mayor sea el tamaño del lote.

Por último, se va a estudiar el porcentaje de trabajo en cada estación por parte del trabajador con relación al tiempo total de funcionamiento de la línea de producción para procesar los 100 post-its y con los diferentes lotes posibles.

Tamaño de lote	Porcentaje trabajo estación 1	Porcentaje trabajo estación 2	Porcentaje trabajo estación 3	Porcentaje trabajo estación 4
20	65.18%	48.27%	55.75%	56.35%
5	87.48%	67.96%	80.81%	80.05%
1	97.04%	73.96%	82.94%	87.87%

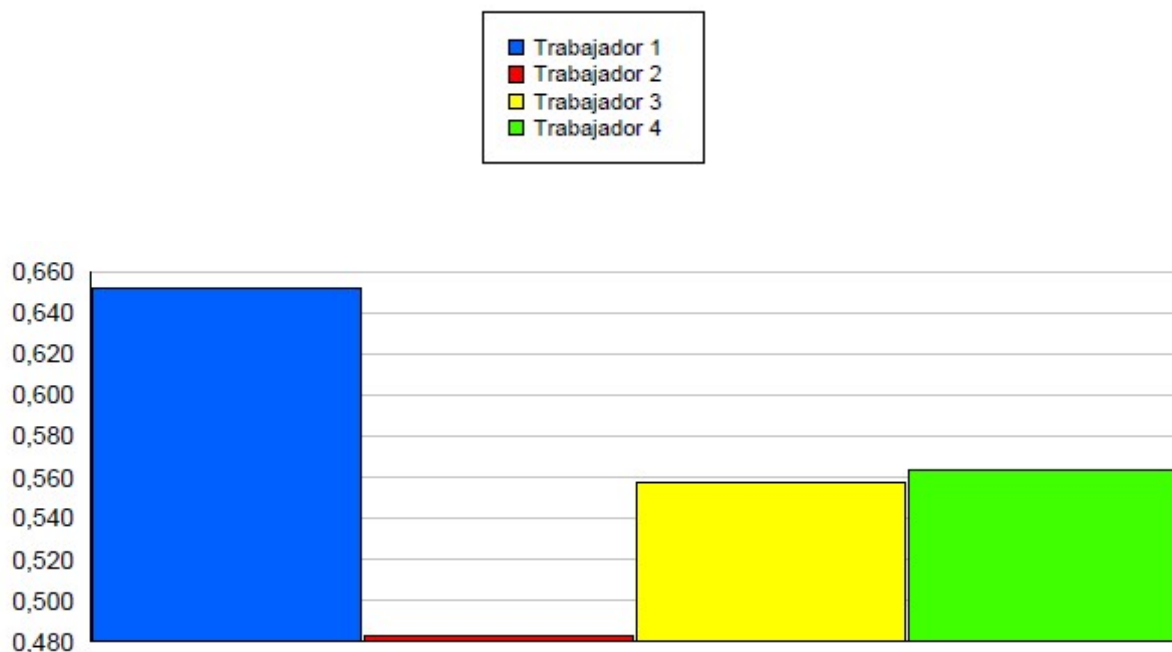
**Tabla 8. Porcentaje de tiempo trabajando en cada una de las estaciones**

En este sentido, se puede establecer que trabajando con un lote de 20 unidades, las estaciones de trabajo pasan un elevado porcentaje de tiempo ocioso, entorno al 50%, por lo tanto este no es valor óptimo ni adecuado para una línea de producción que intenta establecer una metodología Kanban, donde el tiempo es oro para su cadena de valor. En el caso de un lote de 5 unidades, se observa que los resultados son más factibles y adecuados con respecto a una línea de producción que intenta trabajar con estaciones equilibradas y con un tamaño de lote pequeño. En este caso, la media de actividad de los trabajadores se encuentra en torno al 80%. Finalmente, cuando no se agrupa el producto en lotes, los resultados del porcentaje de tiempo trabajando en cada estación son más variables, y dependen más de los valores que toman los tiempos de trabajo de cada trabajador, que se establecieron y explicaron al principio de este apartado, y como se puede observar, al ser el trabajador de la segunda estación el más rápido, es este el que tiene un porcentaje de tiempo trabajando más bajo.

Es importante optimizar el proceso de producción para que tenga un ritmo de fabricación equilibrado, es decir, cuando se trabaja con lotes pequeños normalmente se consiguen mejores resultados en este sentido, pero si el tamaño del lote es demasiado bajo se favorecería el desequilibrio entre productos procesados por cada estación atendiendo al tiempo de procesado de cada una de ellas; y por el contrario, cuando el tamaño del lote es demasiado alto, entonces habrá mucho trabajo en curso (WIP), con todas las nefastas consecuencias en cuanto a la eficiencia del proceso que esto implica, pero eso sí, haciendo que el sistema presente un equilibrio con respecto al número de productos procesados por cada estación con respecto al tiempo de procesado de cada una de ellas.

A continuación, se muestran los diferentes gráficos en los que se visualizan los porcentajes de tiempo trabajado por los trabajadores de cada estación, y de esta forma ver cómo queda el equilibrado de estaciones.

Antes de presentar estos gráficos, conviene recordar que los resultados se encuentran en tanto por uno, y proporcionar el tiempo total que el trabajador de cada estación está ocupado con respecto al tiempo total que toma el proceso completo. Además, se muestra la leyenda con la que se relaciona cada color con un trabajador de cada estación de trabajo:

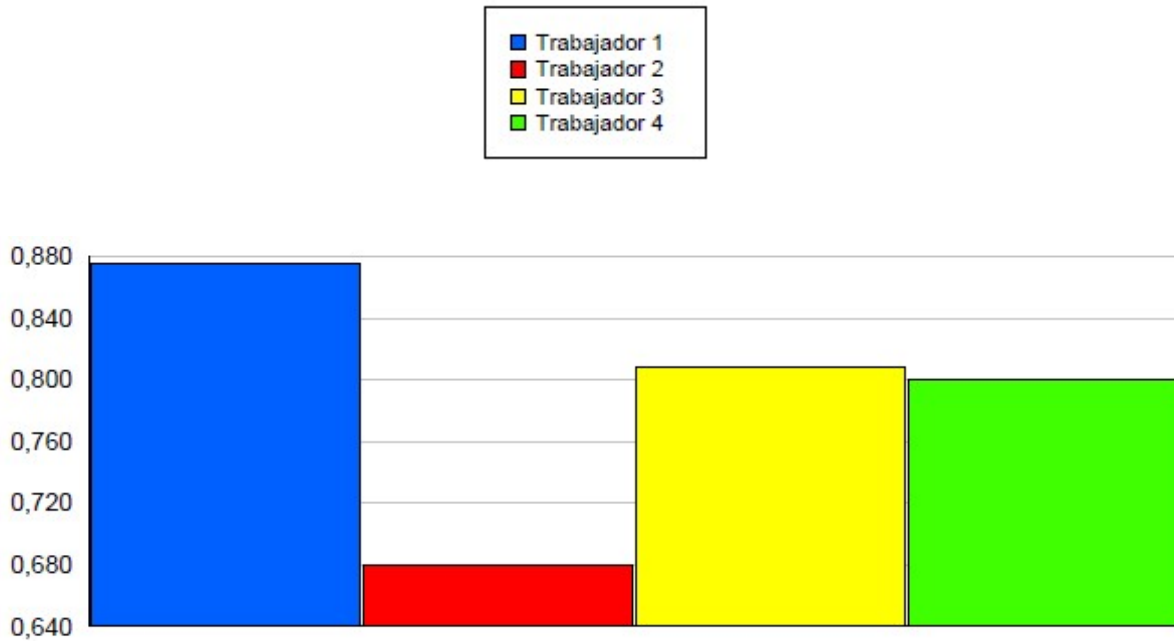


**Ilustración 15. Equilibrado de línea con lote de 20 unidades**

En este caso se observa, que el sistema se encuentra desequilibrado, pues mientras el trabajador uno es el que determina el ritmo de producción, el trabajador dos pasa ocioso la mayor parte del tiempo de proceso de producción, por encontrarse justamente posterior al cuello de botella de la línea de producción. Por otro lado, los trabajadores tres y cuatro representan aisladamente un ritmo de trabajo equilibrado, pero a la vez desequilibrado con respecto al conjunto total del sistema.

Ahora se va a estudiar el lote de 5 unidades, y se analizará si en este caso el sistema se encuentra equilibrado.

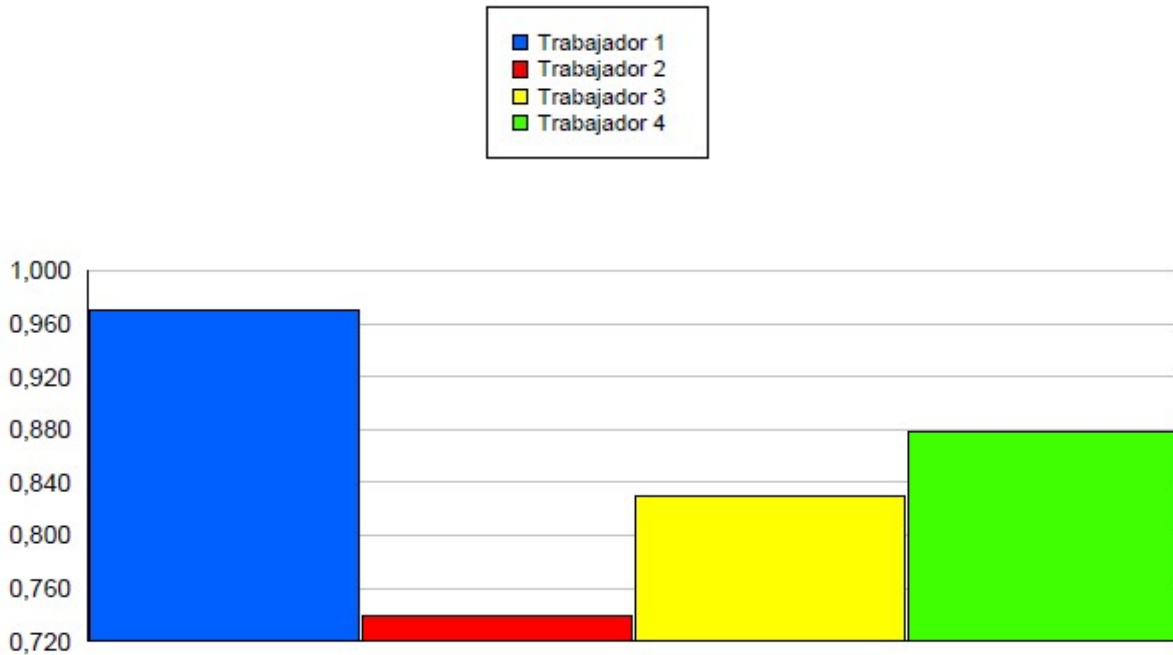




**Ilustración 16. Equilibrado de línea con lote de 5 unidades**

Con esta agrupación de 5 unidades, el sistema presenta un equilibrado más homogéneo puesto que todos los trabajadores pasan la mayor parte del tiempo ocupados. Cabe destacar que el trabajador segundo, tiene un ritmo de producción más rápido, ya que así se estableció en los parámetros de entrada en el modelo de simulación, y por ello es el que pasa mayor tiempo ocioso con respecto a los demás. Finalmente, se puede decir que los demás trabajadores trabajan a ritmo de producción que evita que se produzcan cuellos de botella dentro de la línea de producción.

Por último, se muestra el gráfico en el que se puede observar los porcentajes de tiempo trabajado por los trabajadores de cada estación, cuando no se trabaja agrupando los productos en lotes, es decir, unitariamente.



**Ilustración 17. Equilibrado de línea sin lotes**

Se trata de un caso especial, pues aquí los productos se encuentran en utilización continua ya que los trabajadores no tienen que agrupar éstos en determinados lotes, por tanto se puede observar que como en casos anteriores, el trabajador segundo tiene un ritmo de producción más veloz, siendo el primero el que representa el ritmo de producción más lento. En este caso, se puede decir que las estaciones están equilibradas, pues todas están ocupadas en un tramo mayor al 72%.

Como conclusión, cabe decir que no hay un límite de trabajo en curso (WIP) correcto para una determinada tarea, ya que el objetivo de todo proceso es mejorar el flujo, pero sí es fácil observar este valor para detectar problemas de cuello de botella o mejora de equilibrado de línea. Por ello una premisa importante para mejorar el flujo de este proceso y de cualquiera que se pretenda implantar con una metodología Kanban es parar de empezar a trabajar con nuevos productos, y empezar a terminar con los que ya se ha empezado. Esta premisa tiene por fundamento que, tal y como se puede ver en los resultados obtenidos anteriormente, los trabajos a medio terminar (WIP) no aportan ningún beneficio a la cadena de valor del sistema, de forma que conviene centrarse en terminar productos finales que son los que principalmente aportan valor a la línea de producción.

## 6.2. PRÁCTICA 2: “Pass the Doors”

A continuación, se va desarrollar el análisis de la materia a tratar en esta práctica docente titulada “Pass the Doors”, donde se explicará su diseño, implantación, ejecución y resultados posteriores de la realización de la práctica mediante el modelo de simulación correspondiente.

### 6.2.1. CONTEXTO INDUSTRIAL DE LA PRÁCTICA

El fundamento y motivación de la implantación de esta segunda práctica radica en los mismos objetivos que la práctica anterior, pero esta vez, se profundizará más en los conceptos propios del Lean Manufacturing y la metodología Kanban, que se ha presentado anteriormente en este documento, como es el caso, de comprender quién marca el ritmo de producción en una fábrica atendiendo a los sistemas de flujo de información tipo Push y tipo Pull.

Esta práctica se basa en la simulación de un proceso industrial donde se pretende reforzar el conocimiento sobre la importancia del WIP (Work In Process), el producto final acabado y cómo ambos condicionan la productividad de un proceso industrial. Además, se analizarán las mejoras que obtiene el proceso al aplicar los principios de la metodología Kanban. En esta práctica se refuerza la actitud de trabajar y planificar en equipo, y por tanto se espera que la comunicación entre los miembros del equipo sea fluida. Esta metodología intenta mejorar el proceso de producción, optimizando el tiempo de fabricación para producir productos y servicios con una alta calidad y cumpliendo con los tiempos de espera comprometidos con el cliente. Todo el proceso en su conjunto debe satisfacer las necesidades del cliente, sin que, por la mejora del mismo, el producto o servicio final sufra un incremento del precio de venta al consumidor, es decir, es un compromiso de los encargados del proceso de producción fabricar con la optimización de costes y tiempo para ofrecer al cliente un producto de la máxima calidad.

Por lo tanto, los procesos con metodología Kanban son una herramienta para controlar el ritmo de producción de los sistemas de producción y fabricación, de forma que se controla el ritmo de producción mediante el reemplazo de lo consumido. Así, solo se fabrica cuando es necesario, es decir, se evita producir cuando no es necesario y el desperdicio.

Para entender el funcionamiento de esta práctica docente es importante comprender el proceso productivo industrial en el que se basa. En este sentido, se va a diseñar teniendo en cuenta la

línea de producción serie que utiliza una empresa de producción en la fabricación y ensamblaje de puertas. Este proceso consiste en el montaje de las diferentes piezas que conforman la puerta de un vehículo, desde una estación de corte y estampación de dichas piezas, hasta pasar a una etapa de post-ensamblaje, pintura y montaje del cristal donde se montan las piezas desmontables de la puerta. Por último, la estación final del proceso es la estación de calidad, donde el encargado de la misma, revisa mediante técnica visual las especificaciones que se deben cumplir para que la puerta pueda ser aprobada por el cliente en su entrega.

El funcionamiento óptimo de la práctica consiste en que los 4 trabajadores desarrollen su cometido tal y como se mostrará en las instrucciones posteriormente, y los 4 supervisores contabilicen el tiempo que tardan en desarrollar su trabajo cuando se les pida, (tiempo de ciclo). Por otro lado, un trabajador medirá el tiempo de entrega al cliente (Lead Time) de los diferentes tamaños de lote. Además, otra persona controlará en número de materiales en curso (WIP), cuando estos también sean requeridos. El tercer controlador, será el encargado de determinar el cuello de botella del proceso. Por último, el cliente es el que requiere las especificaciones del producto final con sus determinadas características, y el que decide cuando se empieza a trabajar en la línea de producción, y quien determina cuando han transcurrido el tiempo de producción que los trabajadores levanten la mano y paren de fabricar.

Entre los miembros del equipo habrá un director de fábrica, quién establecerá el número de tarjetas Kanban necesarias para cumplir con la demanda del cliente, y fomentar un sistema de flujo de información adecuado y veloz en el sistema de producción.

Esta práctica se desarrollará durante unos 40 minutos en los que los miembros de cada equipo, tal y como se explicará en las instrucciones, desarrollarán su cometido rápidamente y cumpliendo con las especificaciones del cliente, que posteriormente decidirá si el producto final que le llega es o no válido. En la primera fase de 20 minutos, se simulará un proceso tipo Push, donde los trabajadores intentarán producir en las cantidades de lote requeridas todo lo posible. Los restantes 20 minutos, producirán simulando un proceso tipo Pull, conforme a la demanda que marque el cliente.

El objetivo que se persigue es conocer la importancia y la influencia que tiene la planificación del trabajo grupal conforme a las especificaciones del cliente. Para así conocer qué ocurre con el WIP cuando se aumenta o se disminuye la velocidad de la producción en línea.

Finalmente, se seguirá documentando y extrayendo conclusiones a raíz de las simulaciones obtenidas en el programa de simulación Arena para planificar y organizar la práctica docente a implantar.

### 6.2.2. ORGANIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN

El correcto desempeño de la práctica en clase consiste en crear unidades de puertas terminadas conforme a las especificaciones del cliente, las cuales añaden puntos al equipo cuando han sido acabadas; pero al mismo tiempo, evitar el desperdicio de puertas a medio terminar, las cuales deducen puntos de la puntuación final. El cliente pide puertas completas y con la calidad deseada, por lo tanto el equipo solo adquiere puntos cuando lo logra. El equipo que sume más puntos es el que gana.

Se va a desarrollar esta práctica en dos fases, estando cada fase dividida a su vez en dos, es decir, primero se simulará un sistema tipo **Push**, estando fabricando 10 minutos a toda velocidad sin tener que agrupar las puertas en lotes, y otros 10 minutos siendo el tamaño del lote 5 unidades. Por otro lado, se trabajará 10 minutos con metodología tipo **Pull** donde las órdenes vengán directamente del cliente, primero sin crear lotes, y posteriormente haciendo agrupaciones de 3 unidades.

- El papel de los miembros del grupo:

Los alumnos se agrupan en grupos de 9 personas, los mismos que en la práctica de “*Pass the Post-its*”. Cuatro de los miembros del grupo son los encargados de ir procesando las tareas que a continuación se explicarán.

De los otros cuatro miembros del grupo:

- Un alumno se colocará en frente del primer trabajador para, junto con un cronómetro (puede ser el móvil personal), medir el tiempo que este trabajador tarda en procesar su tarea (Tiempo de ciclo) cuando se le requiera por parte del noveno integrante del equipo (cliente). El cliente lo requerirá en cada una de las cuatro partes de esta práctica en el minuto 3 y en el minuto 8, por ejemplo.
- Otro alumno contará el número de unidades de material en curso (WIP) que hay durante el proceso cuando el cliente se lo requiera. El cliente lo requerirá en

cada una de las cuatro partes de esta práctica en el minuto 4 y en el minuto 9, por ejemplo. También es necesario contabilizar el WIP cada vez que acaba el tiempo de producción para establecer los resultados por puntos.

- Un miembro del equipo será el encargado de determinar dónde se encuentra el cuello de botella. Y lo comunicará al cliente al final de cada parte del proceso.
- Un alumno se colocará en frente del último trabajador para, junto con un cronómetro (puede ser el móvil personal), medir el tiempo de entrega (Lead Time) al cliente del producto requerido. El cliente se lo requerirá en cada una de las cuatro partes de esta práctica en el minuto 1 y en el minuto 10, por ejemplo.

El último miembro del equipo restante, será el que dé las órdenes de producción conforme a sus requerimientos (Color de contorno, color de ventana, color de almacenaje), con suficiente antelación para que en ningún momento los trabajadores estén ociosos, y por escrito, mediante tarjetas Kanban, para que pueda ser leído por el primer cronometrador a los trabajadores del equipo.

Cuando los cuatro miembros del equipo que se encargan de medir todas las variables descritas anteriormente recopilen los resultados al terminar el proceso de cada parte de la práctica, se lo comunicarán al cliente, quien escribirá los resultados en una hoja de Excel, provista en el ordenador.

Consejos a la hora de desarrollar la práctica:

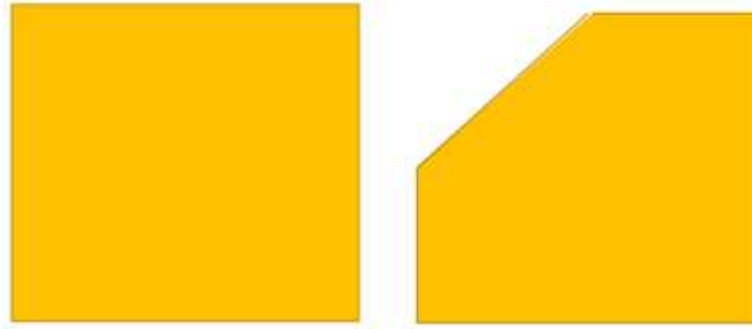
- a) Colocar los 300 post-its (150 amarillos y 150 azules) al lado del primer trabajador que tiene que procesarlos según sean los requerimientos del cliente. Y teniendo en cuenta que al tomar cualquier post-it, éste ya entraría en la línea de producción, y por lo tanto sería considerado como material en curso (WIP), con las consecuencias de que este hecho tiene cuando posteriormente no es utilizado.
- b) Los cuatro trabajadores se colocarán en línea, y los cuatro encargados de controlar las diferentes variables del proceso, igualmente en frente de ellos. Por último, el cliente, se colocará al lado del último trabajador.
- c) Tener los cronómetros o móviles preparados para medir cuando sea necesario.

- d) El tiempo empieza a contabilizar desde que el cliente da la primera orden de compra con sus respectivos requerimientos de color del contorno, ventana, y almacenaje. Además, en el momento que el cliente indique que han transcurrido los 10 minutos que dura cada una de las cuatro partes de la práctica, todos los trabajadores levantarán las manos y dejarán de trabajar en su tarea.
- e) Dibujar la ventana y el almacenaje de forma clara y con relación a las imágenes que más adelante se proporcionan. Es importante que el trabajo se haga con cuidado y respetando la calidad que exige el cliente, puesto que de no cumplirlo, el cliente puede devolver la puerta, desperdiciando tiempo que no sería productivo.

- Las estaciones de la práctica:

La práctica se divide en cuatro estaciones:

- a) La primera estación se inicia :
  - i. En método Push: cuando el primer trabajador toma el primer post-it para procesarlo según las especificaciones que se proporcionen antes de comenzar la práctica. Las especificaciones serán proporcionadas por el profesor de forma aleatoria a cada grupo mediante unas tarjetas tipo Kanban que indican el color de contorno, de ventana y de la zona de almacenaje de cada puerta.
  - ii. En método Pull: cuando el cliente da la primera orden de compra de puertas, entonces, el trabajador más cercano al cliente hará uso de las tarjetas Kanban provistas en la práctica para ir informando a las estaciones inmediatamente predecesoras (“marcha atrás”) de las órdenes de compra del cliente cada vez que éste las modifique. De esta forma, cada trabajador, a medida que le lleguen las tarjetas Kanban con las órdenes del cliente, cogerá el post-it del color del contorno que haya detallado el cliente (por ejemplo, amarillo), y le recortará la esquina superior izquierda tal y como se detalla en la siguiente ilustración.

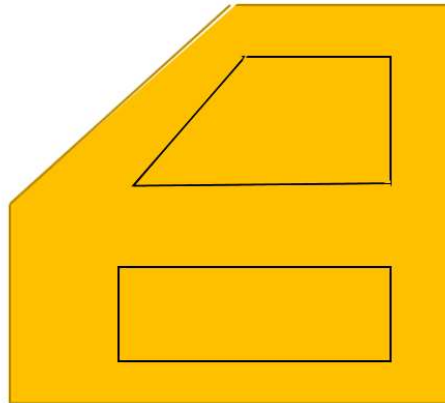


**Ilustración 18. Tarea en la primera estación de trabajo**

En el momento en el que haya terminado de hacer esta tarea:

- i. Cuando no se produce considerando ningún tamaño de lote, pasará el material al trabajador número dos.
  - ii. Cuando se trabaja con un determinado tamaño de lote, el trabajador número dos, no podrá coger ninguna unidad hasta que no se haya completado el lote por completo. Será misión del controlador que se encuentra en frente del trabajador primero, comprobar que se cumple esta condición.
- b) La segunda estación consiste en dibujar el contorno de la ventana y el contorno del espacio de almacenaje de la puerta con un rotulador negro, de forma que tenga parecido con la ilustración que se presenta, e intentando hacer líneas rectas en todo momento, pues de no ser así el material en curso no será aceptado por el controlador de esta segunda estación.

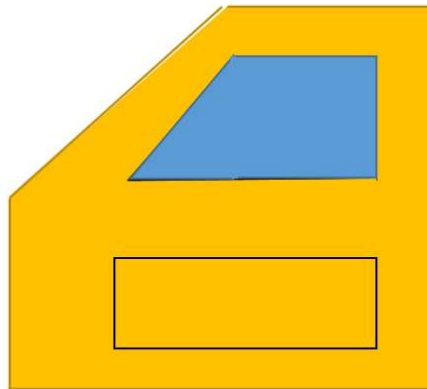




**Ilustración 19. Tarea en la segunda estación de trabajo**

En el momento en el que haya terminado de hacer esta tarea:

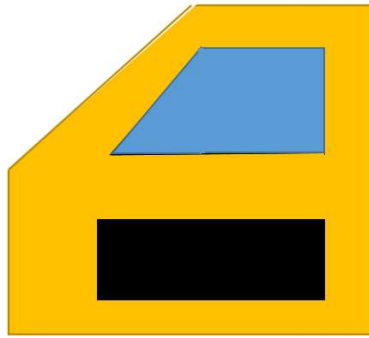
- i. Cuando no se produce considerando ningún tamaño de lote, pasará el material al trabajador número tres.
  - ii. Cuando se trabaja con un determinado tamaño de lote, el trabajador número tres, no podrá coger ninguna unidad hasta que no se haya completado el lote por completo. Será misión del controlador que se encuentra en frente del trabajador segundo, comprobar que se cumple esta condición.
- c) La tercera estación consiste en colorear el interior de la ventana del color que el cliente quiera lo requiera (por ejemplo, azul). Es también trabajo del controlador de la estación tercera comprobar que se colorea por completo la ventana.



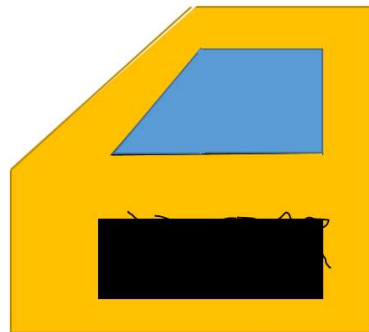
**Ilustración 20. Tarea en la tercera estación de trabajo**

En el momento en el que haya terminado de hacer esta tarea:

- i. Cuando no se produce considerando ningún tamaño de lote, pasará el material al trabajador número cuatro.
  - ii. Cuando se trabaja con un determinado tamaño de lote, el trabajador número cuatro, no podrá coger ninguna unidad hasta que no se haya completado el lote por completo. Será misión del controlador que se encuentra en frente del trabajador tercero, comprobar que se cumple esta condición.
- d) La cuarta estación consiste en que el trabajador cuarto coloree con el color exigido por cliente (por ejemplo, negro) el interior del espacio de almacenaje sin salirse de los espacios delimitados y sin dejar huecos en el interior, porque posteriormente el cliente que se encuentra al final de la línea de producción determinará si la pieza es válida. Si la pieza no es válida será devuelta a la estación que sea necesaria para que sea corregida si es posible (por ejemplo, si el fallo es haberse salido coloreando del contorno del espacio de almacenaje la pieza no tendría reparación y sería desechada).



**Ilustración 21. Tarea en la cuarta estación de trabajo con pieza válida**



**Ilustración 22. Tarea en la cuarta estación de trabajo con pieza no válida**

En el momento en el que el cliente determine que la pieza es válida:

- i. Cuando no se produce considerando ningún tamaño de lote, la pieza pasará de ser considerada WIP a producto final.
- ii. Cuando se trabaja con un determinado tamaño de lote, hasta que no se haya completado el lote por completo, no podrá considerarse producto final todo el lote por completo.

Las tarjetas Kanban que serán proporcionadas por el profesor (tipo Push) o por el cliente (tipo Pull) tienen todas las combinaciones posibles de opciones a la hora de ordenar un pedido de puertas:

- Puertas azules con ventanas negras y almacenaje negro.
- Puertas amarillas con ventanas azules y almacenaje negro.
- Puertas amarillas con ventanas negras y almacenaje negro.

Cuando las órdenes las dé el cliente (tipo *Pull*), éstas serán dadas con suficiente antelación, para que en ningún momento la línea de producción se detenga por falta de pedido. Además, el cliente entregará al trabajador más cercano a él las tarjetas Kanban con sus requerimientos, de forma que este trabajador irá informando “aguas arriba” a los trabajadores que inmediatamente lo anteceden sobre los cambios a realizar según hayan sido las órdenes del cliente.

### **6.2.3. CONOCIMIENTOS A ALCANZAR**

Los resultados que se pretenden obtener mediante el desarrollo de esta práctica consisten en la recogida de los siguientes datos:

- Tiempo de ciclo de cada estación cuando el cliente lo pida.
- Visualización del comportamiento del trabajo en curso (WIP).
- Lead Time de cada puerta aceptada cuando lo pida el cliente.
- Lead Time medio de las puertas aceptadas por el cliente.
- Lead Time máximo de las puertas aceptadas por el cliente.
- Lead Time mínimo de las puertas aceptadas por el cliente.
- Identificación del cuello de botella.
- Identificación del trabajador más ocioso.
- Número total de puertas aceptadas por el cliente.

- Número total de material en curso (WIP) al acabar el tiempo de producción.
- Número de tarjetas Kanban en cada una de las cuatro fases de la práctica.

Por otro lado, con esta práctica se quiere que los alumnos terminen de comprender con claridad los conceptos relativos al Lean Manufacturing, así como a la metodología Kanban, y que por lo tanto sean capaces de diferenciar entre los diferentes conceptos relativos a esta materia como es el Lead Time, el Cycle Time, Throughput y el producto final aceptado por el cliente.

Además, es importante que los alumnos planifiquen su producción y el director de fábrica establezca el número de tarjetas Kanban necesarias para cumplir con la demanda del cliente, antes de comenzar a trabajar con el material necesario para que puedan establecer un plazo determinado con el cliente y que puedan aprovisionarse del material necesario para dicha producción, teniendo muy presente las reglas estudiadas en este proyecto con respecto a la sobreproducción y a hacer todo lo posible por evitar el desperdicio, tanto de material como de recursos humanos.

Finalmente, se trabajará con procesos de producción tipo Pull y tipo Push, por lo tanto será determinante fijarse en las diferencias existentes en los resultados de ambos tipos de formas de producir, así como deducir cómo afecta en la producción quien marca el ritmo de producción. De esta forma, además de medir todas las variables explicadas anteriormente, los alumnos serán capaces de visualizar dónde se encuentra el cuello de botella, y cómo se puede ayudar a mejorar el ritmo de producción teniendo en cuenta esta restricción.

#### **6.2.4. RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE SIMULACIÓN**

Igualmente en esta práctica se ha utilizado el programa de simulación *ARENA*, para poder plantear con ajuste a la realidad la cronología de las prácticas a implementar en clase, con el cual se ha creado un modelo de producción en línea con cuatro estaciones, las cuales tienen sus propias singularidades y tiempos de trabajo como se puede ver a continuación:

<i>Estación (s)</i>	Media	Desviación típica
<b>Estación 1</b>	10	1
<b>Estación 2</b>	8	0.5
<b>Estación 3</b>	15	1.5
<b>Estación 4</b>	15	1.5

**Tabla 9. Parámetros de tiempo en cada estación de trabajo**

Como se puede observar, el tiempo de procesamiento de cada estación es diferente, dado que cada trabajador tendrá un ritmo de trabajo diferente en su tarea. Las unidades de tiempo están en segundos, y se distribuyen en el programa de simulación con relación a una distribución normal. Se escoge esta distribución puesto que representa la función estadística más acorde con la realidad de trabajo dentro un proceso de producción donde todos los operarios trabajan con un ritmo medio centrado en la media general de todos los trabajadores que tienen la misma función, presentando además una pequeña desviación que se tendrá en cuenta en la discusión de los resultados.

El modelo que se emplea para simular la práctica docente propuesta para los alumnos de primero de Máster en Ingeniería Industrial, consiste en una serie de procesos en línea en los que en cada uno de ellos existe un recurso que representa al trabajador que realiza su tarea. Además, en el modelo aparecen dos bloques muy importantes, que son los que se encargan de agrupar los lotes en las cantidades solicitadas por el cliente, y soltarlos de uno en uno, una vez el lote ha sido creado.

El entorno de ARENA precisa de diferentes módulos con los cuales se obtienen los resultados deseados en el contexto industrial en el que se basa esta práctica. En concreto, el primer módulo que se necesita para introducir el material que se requiere es el módulo “CREATE”, éste dará entrada a los post-its que requiera el cliente, con una distribución de Poisson, en la cual el orden y cantidad de llegada la determinará el cliente. Posteriormente, serán necesarios los módulos “PROCESS”, “BATCH” y “SEPARATE”, los cuáles disponen las actividades que son llevadas a cabo por los recursos sobre las entidades, agrupan los post-its (entidades) en el tamaño de lote deseado, y por último, las vuelve a separar para que puedan seguir el proceso a una estación diferente. Finalmente, se hace uso del módulo “DISPOSE”, para concluir el modelo y se puedan obtener los resultados en tiempo y forma.

Con este programa de simulación se obtendrán resultados, tanto cuando se precise de un sistema de producción tipo *PUSH*, donde las órdenes de producción y por tanto la producción en sí saldrán del trabajador colocado en el primer bloque de la estación primera; como de un sistema de producción tipo *PULL*, donde las órdenes de producción vendrán del cliente y por tanto deberán seguir un flujo de información, hasta que el primer operario pueda producir, “aguas arriba”.

El modelo va a ser simulado con cinco repeticiones en cada fase, de tal forma que cuando se presenten los resultados, éstos serán los que se concluyen después de haber simulado cada parte de la práctica cinco veces, y por tanto los resultados serán más robustos y menos sesgados.

Se ha decidido crear lotes de 5 unidades cuando se trabaja con metodología *PUSH*, y con lotes de 3 unidades con metodología *PULL*. Además en cada tipo de metodología se trabajará sin crear lotes, y por lo tanto en los resultados que aparecerán a continuación, cuando la unidad de lote sea 1, se referirá a este tipo, y será indistintamente igual tanto para tipo *PUSH* como para tipo *PULL*.

En primer lugar se quiso conocer, el tiempo que de media una unidad de material, que finalmente será una puerta, permanece en la línea de producción en cada uno de los diferentes lotes creados:

Tamaño de lote	Tiempo medio post-it en proceso	Tiempo mínimo post-it en proceso	Tiempo máximo post-it en proceso
5	89.23	86.31	91.69
3	90.07	86.21	94.24
1	89.05	87.26	91.25

**Tabla 10. Tiempo medio de una unidad de post-it siendo manipulado por operario**

Como se puede observar, de media el tiempo que un trabajador se encuentra operando con un post-it en la línea de producción es prácticamente igual en las diferentes agrupaciones que se ejecuten del lote, ya que al tratarse de una distribución normal la que define el tiempo de trabajo en cada una de las estaciones, la media del mismo permanece constante en las distintas agrupaciones del lote. Por lo tanto, en este sentido no se puede extraer ninguna conclusión interesante para ser estudiada por los alumnos. Pero como sí que se comenta en las instrucciones para realizar la práctica, los alumnos tendrán que ir anotando los tiempos que

toman los lotes en ser procesados por la línea de producción cuando se les requiera, para luego estudiar cuáles son los tiempos máximos y mínimos para los diferentes tamaños de lote.

Por otro lado, es interesante conocer los resultados del tiempo medio que el WIP está en cola, es decir, el tiempo en el cual hay material dentro del proceso pero no está siendo procesado por ninguna estación de trabajo. Este tiempo es conveniente que sea pequeño, puesto que como se comenta en la teoría de los modelos de producción eficientes referentes al “*Lean Manufacturing*”, es un parámetro que debe ser reducido al máximo, ya que conlleva a una cultura del desperdicio, cultura que está en las antípodas de la que se intenta explicar en este trabajo.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos respecto al tiempo medio de espera del conjunto de post-its:

Tamaño de lote	Tiempo medio de espera del proceso	Tiempo mínimo de espera del proceso	Tiempo máximo de espera del proceso
5	366.79	355.4	244.66
3	303.21	282.18	316.67
1	242.38	233.56	248.91

**Tabla 11. Tiempo medio de espera del WIP en la línea de producción**

En esta ocasión, sí se puede observar que existe una fuerte relación entre el tiempo medio de espera del conjunto del proceso directamente proporcional al tamaño de lote, es decir, en cuantas menos unidades se quiera agrupar un lote, menor tiempo de espera tendrán que sufrir el material dentro del proceso. Por otro lado, cabe destacar que el tiempo medio de espera del proceso en los tres casos (medido en segundos) parece alto, pero es así, porque el programa de simulación, tiene en cuenta todo el material que está esperando a ser procesado desde el principio, por lo tanto, para nosotros este tiempo no va a ser tenido en cuenta, ya que evaluaremos el tiempo en procesar una unidad, en el momento que el primer trabajador toma el primer post-it, como se describe en el guion de la práctica.

Por supuesto, es muy importante estudiar el Lead Time, ya que como se ha explicado anteriormente, este tiempo es uno de los factores más relevantes dentro del estudio de la eficiencia y calidad de una línea de producción. El Lead Time, es el tiempo que una cantidad de materiales tardan en ser procesados dentro de un proceso de producción, desde que entra al



proceso hasta que sale como producto definitivo para ser entregado al cliente. En este sentido se pueden estudiar los siguientes resultados:

Tamaño de lote	Lead Time medio	Lead Time mínimo	Lead Time máximo
5	456.86	444.21	468.4
3	392.44	368.48	406.55
1	331.43	322.37	338.61

**Tabla 12. Lead Time de las unidades procesadas por el modelo**

Con estos resultados, se puede observar que cuanto menor sea el tamaño del lote, menor será el tiempo total que tome el proceso en llegar a su fin. Lo cual está vinculado con los resultados anteriormente analizados, ya que, ahora sí que se puede concluir que al limitar el tamaño del lote, y por lo tanto que haya menos trabajo en curso en el proceso (WIP), menor será el Lead Time, y por tanto menos tiempo estará un producto dentro del proceso de producción.

Como se ha comentado anteriormente, en esta práctica tiene especial relevancia el estudio del trabajo en curso (WIP) durante todo el proceso, ya que éste está fuertemente relacionado con el Lead Time, como se ha comentado anteriormente en el análisis de los resultados. Con respecto al estudio del total de producto en curso en función del tamaño del lote se pueden observar los siguientes resultados:

Tamaño de lote	Número total procesado	WIP
5	10	27
3	12	22
1	16	19

**Tabla 13. WIP en el proceso de producción**

Como se puede observar, y como se podía suponer con respecto al análisis de los resultados del Lead Time, tiene sentido, entonces, que al disminuir el tamaño de lote, también se reduce el trabajo en curso, y por tanto, habrá menor número de materiales en mitad del proceso cuando este se pretende que se realice siguiendo un metodología Kanban, en la cual se debe ahorrar en la realización de trabajos que no aporten valor a la cadena de producción.

Hay que tener en cuenta que un WIP elevado favorece normalmente los retrasos en las entregas comprometidas con el cliente, ya que no se cumplen con las estimaciones previstas al tener que procesar y trabajar con material que no está previsto manejar durante el proceso de producción.

El hecho de haber grandes lotes implica que no queda claro que se debe hacer con los productos que no están procesados completamente, ya que estos ocupan lugar, tiempo de transporte para los operarios y por tanto, no quedan claras las prioridades en cuanto al almacenaje temporal de los mismos.

Cuando se trabaja con tamaños de lote moderados, es importante utilizar uno de los elementos más relevantes de la metodología Kanban, las tarjetas de identificación y visualización del estado del proceso, ya que con estas es posible conocer el estado del trabajo hasta ese momento, para sí poder tomar decisiones adecuadas sobre qué hacer después con el material en curso. También, estas tarjetas incluyen la descripción del tipo del trabajo a realizar con el material que identifican, con sus respectivas fechas límite de actuación y con la identificación del operario que debe actuar sobre el mismo.

Como conclusión se puede establecer que cuanto menor sea el trabajo en proceso (WIP), más rápido será el flujo del material a lo largo de la línea de producción, es decir, más bajo será su Lead Time.

Centrándonos ahora en el tiempo de espera delante de cada una de las cuatro estaciones de trabajo, se pueden observar los siguientes resultados:

Tamaño de lote	Tiempo medio cola estación 1	Tiempo medio cola estación 2	Tiempo medio cola estación 3	Tiempo medio cola estación 4
5	279.99	20.35	139.57	48.62
3	274.91	9.94	137.31	25.4
1	271.59	0.00	134.95	0.05

**Tabla 14. Tiempo de espera medio en cada uno de las cuatro estaciones de trabajo**

Es visible que como ocurría en los análisis anteriores, cuanto más pequeño se hace el lote de trabajo, menos tiempo de espera habrá de material delante de cada estación. Se puede observar que realmente los datos relevantes están a partir de la estación 2, ya que la primera contabiliza todo el material con el que se debe procesar durante el período de producción aunque todavía no hayan llegado a ser procesados por el primer trabajador.

Otra observación que se puede establecer es que los tiempos de espera en cada una de las diferentes agrupaciones de los lotes, son siempre mayores en la estación número 3, y por tanto

será éste el cuello de botella del sistema. Se encuentra en esta estación, porque tal y como se ha simulado físicamente, sería esta la tarea que conllevaría mayor tiempo de trabajo en todo el proceso.

Por último, se va a estudiar el porcentaje de trabajo en cada estación por parte del trabajador con relación al tiempo total de funcionamiento de la línea de producción durante los diez minutos de cada parte del proceso en su distinta metodología o agrupación de lotes.

Tamaño de lote	Porcentaje trabajo estación 1	Porcentaje trabajo estación 2	Porcentaje trabajo estación 3	Porcentaje trabajo estación 4
5	99.17%	50.73%	75.56%	39.39%
3	99.50%	52%	85.2%	52.11%
1	99.83%	53.59%	95.34%	64.38%

**Tabla 15. Porcentaje de tiempo trabajando en cada una de las estaciones**

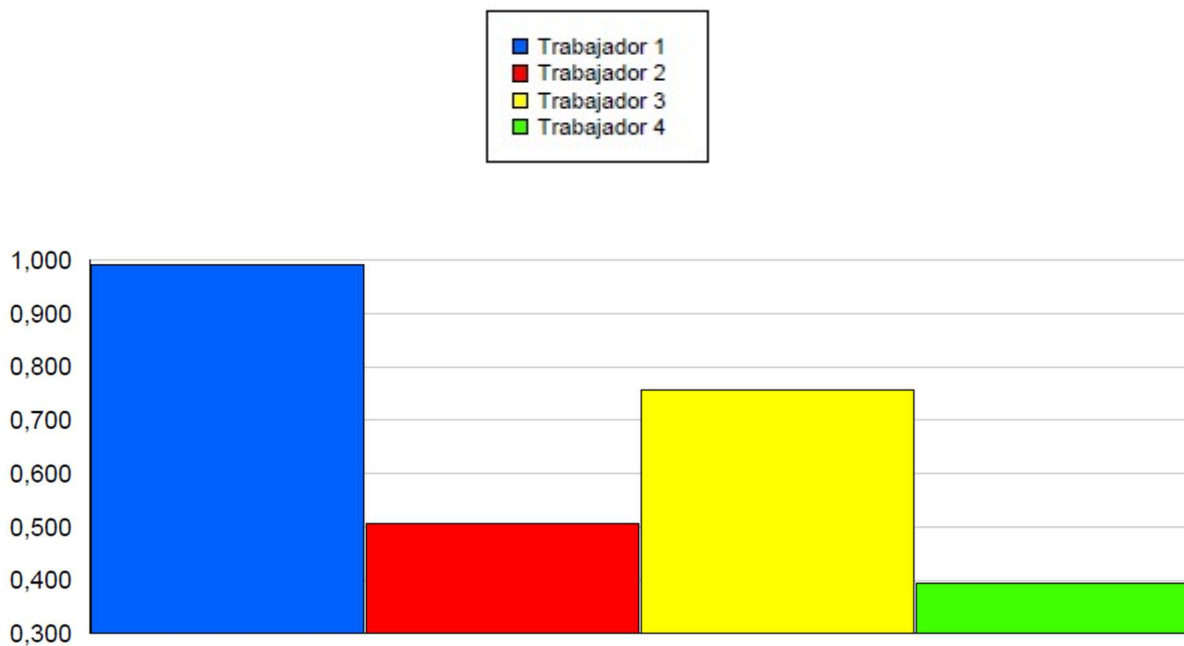
En este sentido, se puede establecer que trabajando con lotes de unidades pequeñas, la mayor parte del tiempo los trabajadores de todas las estaciones estarán ocupados, siendo el porcentaje de trabajo mayor al del tiempo que están ociosos. De cualquier forma, se puede observar que los trabajadores estarán más ociosos cuanto mayor sea el tamaño del lote, aunque esta diferencia sea pequeña, ya que en esta práctica no se trabaja con lotes grandes.

Finalmente, cuando no se agrupa el producto en lotes, los resultados del porcentaje de tiempo trabajando en cada estación son mayores, y dependen más de los valores que toman los tiempos de trabajo de cada trabajador, que se establecieron y explicaron al principio de este apartado, y por tanto, en este caso se está trabajando casi todo el tiempo posible, ya que apenas existen colas como se explicó anteriormente.

Es importante optimizar el proceso de producción para que tenga un ritmo de fabricación equilibrado, es decir, cuando se trabaja con lotes pequeños normalmente se consiguen mejores resultados en este sentido, pero si el tamaño del lote es demasiado bajo se favorecería el desequilibrio entre productos procesados por cada estación atendiendo al tiempo de procesado de cada una de ellas; y por el contrario, cuando el tamaño del lote es demasiado alto, entonces habrá mucho trabajo en curso (WIP), con todas las nefastas consecuencias en cuanto a la eficiencia del proceso que esto implica, pero eso sí, haciendo que el sistema presente un equilibrio con respecto al número de productos procesados por cada estación con respecto al tiempo de procesado de cada una de ellas.

A continuación, se muestran los diferentes gráficos en los que se visualizan los porcentajes de tiempo trabajado por los trabajadores de cada estación, y de esta forma ver cómo queda el equilibrado de estaciones.

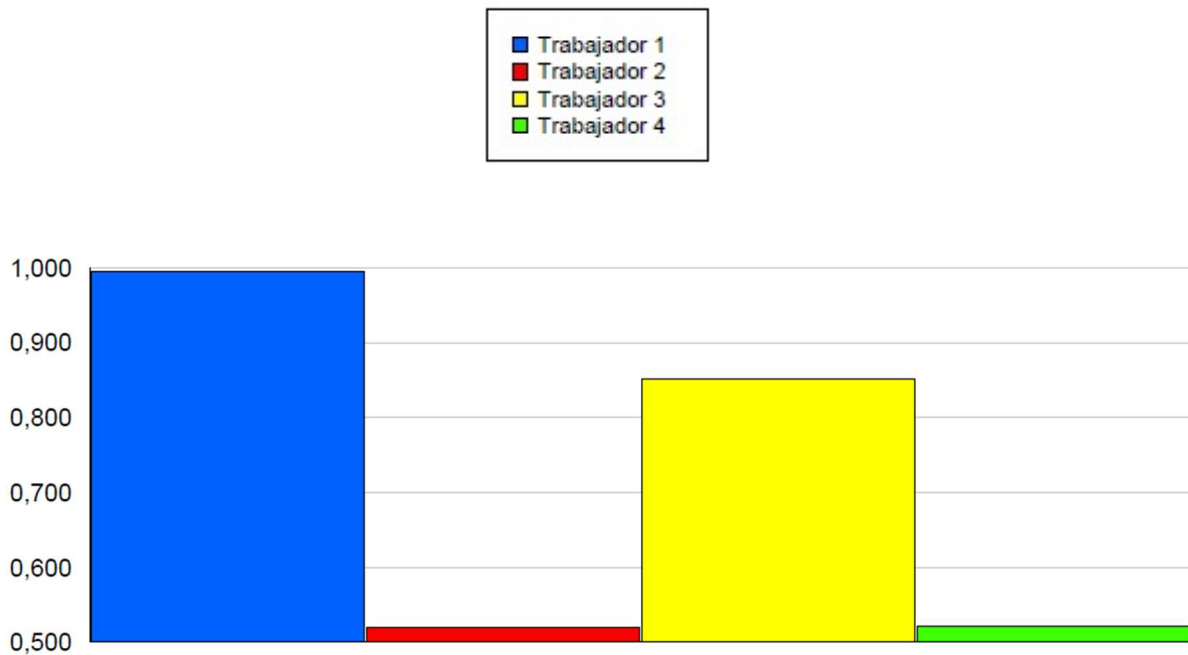
Antes de presentar estos gráficos, conviene recordar que los resultados se encuentran en tanto por uno, y proporcionan el tiempo total que el trabajador de cada estación está ocupado con respecto al tiempo total que toma el proceso completo. Como ya se ha explicado en apartados anteriores, el trabajador número uno tiene un porcentaje de utilización que no se corresponde con la realidad porque el programa automáticamente le asigna material por ser el primer trabajador de la línea de producción, y por tanto estar siempre dispuesto a recibir material. Además, se muestra la leyenda con la que se relaciona cada color con un trabajador de cada estación de trabajo:



**Ilustración 23. Equilibrado de línea con lote de 5 unidades tipo PUSH**

En este caso se observa, que el trabajador tres es el que determina el ritmo de producción, el trabajador cuatro pasa ocioso la mayor parte del tiempo de proceso de producción, por encontrarse justamente posterior al cuello de botella de la línea de producción.

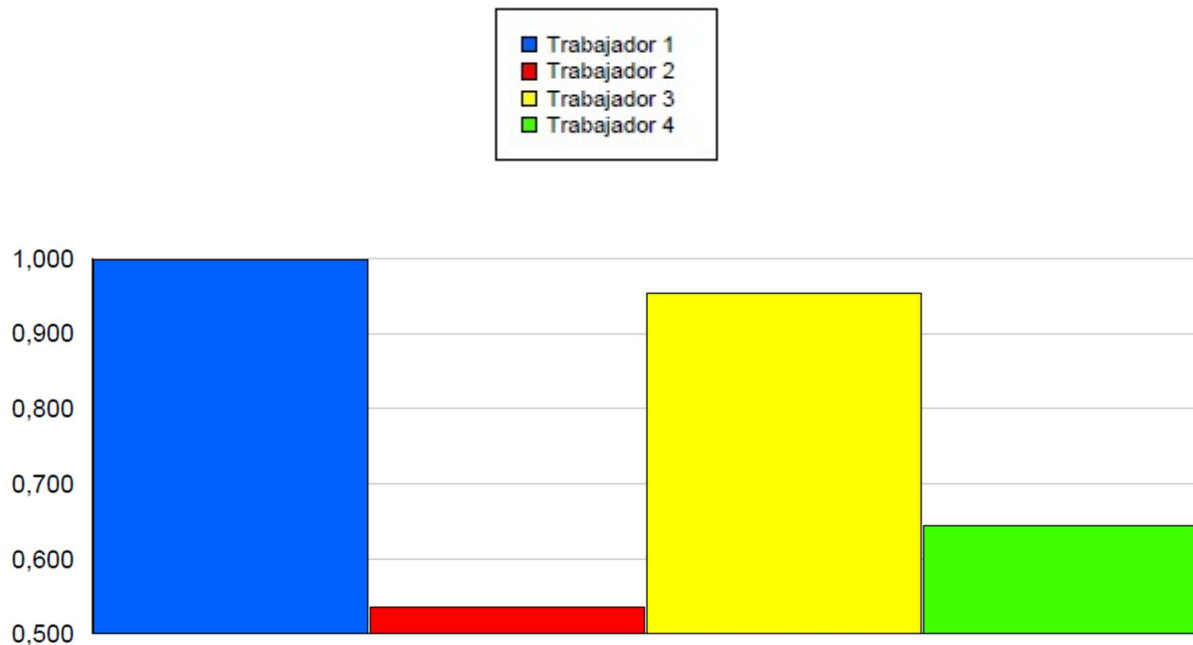
Ahora se va a estudiar el lote de 3 unidades, y se analizará si en este caso el sistema se encuentra equilibrado.



**Ilustración 24. Equilibrado de línea con lote de 3 unidades tipo PULL**

Con esta agrupación de 3 unidades, cabe destacar que el trabajador segundo y cuarto, tienen un ritmo de producción más rápido, ya que así se estableció en los parámetros de entrada en el modelo de simulación, y por ello son los que pasan mayor tiempo ociosos con respecto a los demás. Finalmente, se puede decir que los demás trabajadores trabajan a ritmo de producción que evita que se produzcan cuellos de botella dentro de la línea de producción.

Por último, se muestra el gráfico en el que se puede observar los porcentajes de tiempo trabajado por los trabajadores de cada estación, cuando no se trabaja agrupando los productos en lotes, es decir, unitariamente, tanto con metodología *PULL* como *PUSH*.



**Ilustración 25. Equilibrado de línea sin lotes**

Se trata de un caso especial, pues aquí los productos se encuentran en utilización continua ya que los trabajadores no tienen que agrupar éstos en determinados lotes, por tanto se puede observar que como en casos anteriores, el trabajador segundo tiene un ritmo de producción más veloz, siendo el tercero el que representa el ritmo de producción más lento, por tanto, como ya se ha analizado anteriormente, el cuello de botella se encontrará en la estación tercera.

Como conclusión, cabe decir que no hay un límite de trabajo en curso (WIP) correcto para una determinada tarea, ya que el objetivo de todo proceso es mejorar el flujo, pero sí es fácil observar este valor para detectar problemas de cuello de botella o mejora de equilibrado de línea. Por ello, conviene trabajar con lotes pequeños y con un número adecuado de tarjetas Kanban cuando la demanda viene establecida por el cliente (filosofía *PULL*), mientras que cuando viene determinada por el ritmo de producción, (filosofía *PUSH*), se puede trabajar con lotes más grandes pero moderados, ya que como se concluyó en la práctica 1, un tamaño de lote elevado incurre en mayores tiempos de espera y mayor material en curso.

## 7. CONCLUSIONES

Este trabajo fin de Máster tiene por objetivo la creación de herramientas de mejora continua en la planificación logística industrial, de manera que se refuercen los conocimientos de los alumnos de primero de Máster de Ingeniería Industrial en la Universidad Pontificia Comillas (ICAD).

Este trabajo ha sido una gran oportunidad de mejora de ciertos procedimientos docentes en la asignatura de Sistemas de Producción y Fabricación (SPF) ya que se ha intentado planificar y organizar dos prácticas docentes, que simulen la producción logística industrial dentro de un escenario de producción basado en la producción “*Just in Time*”, y por tanto usando la metodología Kanban, estando ésta además combinada con la cultura del Lean Manufacturing.

Como se ha podido visualizar en el capítulo anterior, los resultados de implantar una metodología Kanban en un proceso de ensamblaje y montaje de piezas de puertas de vehículos tiene numerosos beneficios en materia de ahorro de tiempo de desplazamiento de materiales, en términos de ahorro de material al evitar la sobreproducción, y por supuesto en la planificación logística industrial, pues esta sería mucho más eficiente en todos los sentidos.

Las razones por las que en la mayoría de los sistemas de producción se está implantando la metodología Kanban radican en la necesidad de implementar un sistema en el que se cumplan con los plazos de entrega con el cliente, porque mediante la señalización de tarjetas tipo Kanban, estos plazos son más visibles y tenidos en cuenta durante todas las estaciones de trabajo en la línea de producción. También mediante la implantación de esta metodología, se equilibran las estaciones de trabajo de forma que el trabajo en cada una de ellas sea regular y acorde con la fragmentación total de las tareas. Una de las principales ventajas de la utilización de tarjetas Kanban es la formalización de las prioridades dentro del proceso, de manera que mediante una escala de valores en forma de colores, se puede ver cuáles son las tareas que presentan prioridad frente a las que tienen más flexibilidad en su ejecución, teniendo siempre en cuenta el período de entrega comprometido con el cliente.

La implantación de la metodología Kanban y la filosofía del Lean Manufacturing en cada una de las prácticas docentes planteadas en este proyecto hacen entender a los alumnos la importancia de visualizar el trabajo para que quede claro quién se encarga de cada tarea, así como que quede constancia de las unidades procesadas y el WIP mediante la correcta

manipulación de las tarjetas Kanban. Es por ello, que en las diferentes prácticas docentes se hace especial hincapié en la inspección y adaptación de todos los miembros del equipo en sus puestos de trabajo, para que entiendan la importancia que tiene la visualización del flujo de trabajo y los problemas que pueden aparecer al aparecer cuellos de botella o falta de material en estaciones críticas.

Mediante la realización de la primera práctica “Pass the Pennies”, documentada en el **“ANEXO I”**, los alumnos podrán visualizar y analizar el comportamiento del flujo del material cuando se trabaja con diferentes tamaños de lote a la hora de procesar un tipo de material. En este sentido, los alumnos comprobarán que cuanto menor sea el tamaño del lote de los materiales procesados, menor cantidad de WIP habrá durante el proceso, lo que hará que el flujo del material sea más veloz, y por tanto acortando el Lead Time del sistema.

Por tanto, se puede concluir con esta primera práctica, que limitar el WIP tiene consecuencias positivas en la línea de fabricación, pues se trabajará con menor cantidad de material al mismo tiempo, habrá que transportar menor cantidad de lotes aprovechándose mejor el tiempo de procesamiento en cada estación. Por otro lado, también se puede extraer otra conclusión menos positiva, ya que la eficiencia de los recursos, limitando el trabajo en curso, decrece mientras la eficiencia del flujo del proceso aumenta, es decir, cuando se trabaja con poco trabajo en curso, se obtienen beneficios en lo que respecta a lo anteriormente explicado referente a la filosofía del “Lean Manufacturing”, pero puede dejar el sistema de producción totalmente desequilibrado en determinados momentos de tiempo.

En lo que respecta a la realización de la segunda práctica “Pass the Doors”, documentada en el **“ANEXO II”**, los alumnos podrán trabajar, visualizar y analizar el comportamiento de un sistema de ensamblaje y montaje de puertas de vehículos utilizando diferentes metodologías de trabajo, entre ellas “Pull” y “Push”, además de trabajar con diferentes tamaños de lote durante un determinado período de tiempo. En este sentido, los alumnos comprobarán la cantidad de “Throughput” cuando se ha completado el proceso.

En este caso, se puede concluir con esta segunda práctica, que la aparición de colas sirve para manejar los rechazos de material, y de esta forma conseguir un mejor flujo de trabajo, dando al equipo señales visuales de que el producto está listo para ser procesado. Además en esta práctica, existen inspectores de calidad que darán “feedback” acerca de la conformación con las especificaciones de las piezas, de forma que cuanto antes den su consideración, más rápido



los miembros del equipo podrán tomar las decisiones necesarias para mejorar el producto en el caso de que no sea de conformidad con las especificaciones del cliente. Por otro lado, también se estudia en esta sesión práctica la importancia de encontrar y analizar el estado del cuello de botella, pues éste es un lugar crítico en la línea de producción que puede producir retrasos y situaciones inesperadas en el ritmo de producción. Por ello, los alumnos analizarán e implementarán las acciones necesarias para la vigilancia de éste.

Finalmente, cabe decir que la industria de la producción y la fabricación está sufriendo cambios continuamente en cómo se organizan y cómo se distribuyen las tareas en sus determinados sistemas productivos, por tanto, desde el ámbito docente es importante ir involucrando a los alumnos en la mejora continua de estos procesos, de forma que tomen una forma de pensar encaminada a la consecución de arriesgados retos que mejoren cualquier aspecto industrial. Este pensamiento debe hacer frente a la oposición que puede existir en algunos lugares contra el cambio, ya que como se ha explicado en este trabajo, la industria se encuentra inmersa en una cultura de mejora continua con constantes cambios.



## 8. PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO DEL PROYECTO

### 8.1. PLANIFICACION

La planificación del trabajo de este proyecto va a consistir en un trabajo continuo durante todo el curso, de forma que se empezará investigando y analizando el modelo de práctica que se quiere implementar para la asignatura de SPF.

Dentro de la etapa de investigación, se hará un estudio de los materiales necesarios para llevar a cabo la práctica, así como los tiempos necesarios de cada proceso para que se adapte perfectamente a los cien minutos de tiempo máximo con el que contamos para poder desarrollarla.

Posteriormente, se creará el modelo, utilizando el software de “ARENA”, con el cuál se simulará el proceso productivo industrial que queremos analizar y llevar a cabo en la práctica de laboratorio. Este proceso productivo industrial, se va a diseñar teniendo en cuenta la línea de producción serie que utiliza Grupo Antolín en la fabricación y ensamblaje de puertas.

A continuación, se muestra el cronograma que se ha tomado como guía a la hora de redactar, simular y obtener resultados del proceso de elaboración del TFM. Como se puede observar se trata de un proceso que se empezó a trabajar desde el inicio del curso académico 2018/2019, y que está diseñado para que el trabajo sea continuo y conforme a los requerimientos del mismo. Por ello, hasta que no se ha visitado la planta de producción de puertas en Reino Unido de “Grupo Antolín”, no se ha podido definir el proceso en profundidad. A partir de aquí, ya es posible establecer las etapas que definen el proceso de producción, así como el tiempo necesario de cada una, y como se almacenan en lotes para poder ser entregadas al cliente.

Con este método se pretende, que mediante el sistema de información tipo “Kanban”, se fabrique solo cuando el cliente lo requiera, evitando que se desperdicie material y fabricando contra stock. El sistema mediante el cual el proceso recibe el aviso de poder fabricar consiste en una señal luminosa que estará encendida cuando el producto esté listo para seguir el proceso de fabricación, o incluso su fin, mediante el llenado completo del contenedor.

En el siguiente cronograma se puede observar el seguimiento del plan de trabajo establecido para desarrollar este Trabajo Fin de Máster de carácter académico:

	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>
<i>Recopilación de información y familiarización con el proyecto</i>									
<i>Búsqueda de datos y materiales</i>									
<i>Análisis del problema existente</i>									
<i>Análisis de las necesidades actuales</i>									
<i>Estudio del modelo de ARENA</i>									
<i>Clasificación de las etapas a implementar</i>									
<i>Estudio de los primeros resultados obtenidos</i>									
<i>Estudio de las posibles mejorar a implementar</i>									
<i>Formato definitivo al modelo de simulación productivo</i>									
<i>Estudio de posibles situaciones conflictivas</i>									
<i>Redacción guiones de la práctica</i>									
<i>Aprovisionamiento de materiales necesarios</i>									
<i>Prueba real del modelo creado</i>									
<i>Organización final del TFM</i>									
<i>Redacción del TFM</i>									
<i>Preparación de la defensa</i>									

**Tabla 16. Cronograma del TFM**

## 8.2. PRESUPUESTO

Para la realización de este trabajo, se necesitará tanto recursos materiales, tecnológicos como humanos.

En primer lugar, se necesitan recursos materiales tales como un ordenador donde poder simular y redactar el proyecto. También va a ser necesario un reloj contador del tiempo a la hora de poner en funcionamiento la práctica en clase, post-its que serán nuestro material en movimiento; papeles de colores, y material de escritura y recortables. Con todo ello, junto con el guion de prácticas que también se desarrollará en este TFM, el alumno dispondrá de los materiales necesarios para poder desempeñar la práctica de forma que al terminar pueda ser evaluado para comprobar los conocimientos adquiridos durante la misma, comprobando así el profesor el aprovechamiento de este material.

Por otro lado, son necesarios recursos tecnológicos, donde se incluirá Microsoft Office para la redacción y el análisis de los resultados, así como el programa de simulación “ARENA”, con el cual se simulará la práctica que se llevará a cabo en clase. Gracias a este software, se podrán estudiar en primera instancia los resultados obtenidos y se podrá mejorar el diseño dependiendo de los resultados que se quieran obtener en cada una de las fases de la práctica planteada para los alumnos. Con dicho programa de simulación, se puede analizar y estudiar el cambio en los resultados si se alteran los tiempos de producción, así como el número de Kanbans disponibles. Esto es así, gracias a la aplicación “Process Analyzer”, aplicación por la cual se pueden manejar datos de forma sencilla, a modo de comparación entre los resultados. Además esta aplicación está contenida dentro del software de “ARENA”.

Finalmente, entre los recursos humanos necesarios para la realización de este proyecto se cuenta con el estudiante que realiza el mismo, así como el tutor que lo dirige. Ambos trabajan para crear el modelo que quieren que se implemente en clase para afianzar los conceptos de “Lean Manufacturing”. Por otro, se encuentran un grupo de alumnos vinculados con el autor de este TFM, quienes realizarán las pruebas físicas donde se evaluará la validez del modelo con su puesta en práctica antes de que sea definitivo, y por tanto llevado a cabo en clase como una práctica de la asignatura de primero de Máster en Ingeniería Industrial. Además, para poder comprobar estos resultados teóricos con los resultados que se obtienen de forma experimental, se vigilará el proceso de fabricación y ensamblaje de puertas dentro de una planta de producción de las mismas de “Grupo Antolín” en Reino Unido.

A continuación se va a presentar un presupuesto desglosado en diferentes partidas, las cuales no son complejas ya que se trata más bien de un proyecto de investigación docente, en el cual se han utilizado programas de simulación y de redacción. Además, como bibliografía se han utilizado libros de sistemas de producción y fabricación, así como todas las herramientas necesarias para el buen desarrollo de las prácticas docentes en clase.

La primera partida de mano obra es la siguiente:

RRHH	Horas	€/hora	Coste
Estudiante	360	15	5.400
Profesor	50	30	1.500
<b>Subtotal</b>			<b>6.900€</b>

**Tabla 17. Presupuesto para RRHH**

La partida del material empleado es:

Material	Concepto	Cantidad	Coste
Ordenador Lenovo	Portátil	1	744
Post-its	Escritura	16.000	1.890
Lápices	Escritura	520	120
Documentación	Publicaciones	5	148
<b>Subtotal</b>			<b>2.902€</b>

**Tabla 18. Presupuesto para material**

Y la del software utilizado:

Software	Tipo	Cantidad	Coste
Microsoft Office	Público	1	144
Arena	Estudiante	1	0
<b>Subtotal</b>			<b>144€</b>

**Tabla 19. Presupuesto para software**

En este caso, el coste del programa “ARENA” es nulo porque se cuenta con la licencia de estudiante que se facilita en la universidad.

Con todos estos costes se establece el presupuesto final del proyecto:

Tipo de Coste	Coste Total
RRHH	6.900
Material	2.902
Software	144
<b>TOTAL</b>	<b>9.946€</b>

**Tabla 20. Presupuesto total del proyecto**

Por tanto, el coste total de todo el trabajo desarrollado durante el curso académico 2018/2019 asciende a los 9.946€.





## 9. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Push vs Pull.....	55
Tabla 2. Parámetros de tiempo en cada estación de trabajo .....	65
Tabla 3. Tiempo medio de una unidad de post-it siendo manipulada por operario .....	67
Tabla 4. Tiempo medio de espera del conjunto de post-its en la línea de producción.....	68
Tabla 5. Tiempo total empelado para procesar las 100 unidades de post-its .....	68
Tabla 6. WIP en el proceso de producción .....	69
Tabla 7. Tiempo de espera medio en cada uno de las cuatro estaciones de trabajo .....	70
Tabla 8. Porcentaje de tiempo trabajando en cada una de las estaciones.....	71
Tabla 9. Parámetros de tiempo en cada estación de trabajo .....	86
Tabla 10. Tiempo medio de una unidad de post-it siendo manipulado por operario .....	87
Tabla 11. Tiempo medio de espera del WIP en la línea de producción .....	88
Tabla 12. Lead Time de las unidades procesadas por el modelo .....	89
Tabla 13. WIP en el proceso de producción .....	89
Tabla 14. Tiempo de espera medio en cada uno de las cuatro estaciones de trabajo .....	90
Tabla 15. Porcentaje de tiempo trabajando en cada una de las estaciones.....	91
Tabla 16. Cronograma del TFM .....	100
Tabla 17. Presupuesto para RRHH .....	102
Tabla 18. Presupuesto para material .....	102

Tabla 19. Presupuesto para software .....	102
Tabla 20. Presupuesto total del proyecto .....	103

## 10. ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Organización de la unidad didáctica de Lean Manufacturing .....	30
Ilustración 2. Posición internacional de Grupo Antolín .....	33
Ilustración 3. Clientes Grupo Antolín.....	34
Ilustración 4. Distribución de unidades de negocio de Grupo Antolín .....	34
Ilustración 5. Tarjeta Kanban en una estación de una línea de producción.....	37
Ilustración 6. Pizarra Kanban de Grupo Antolín para ensamblaje .....	38
Ilustración 7. Pizarra Kanban sobre órdenes de producción.....	39
Ilustración 8. La casa del TPS.....	40
Ilustración 9. Notas de los alumnos en examen de equilibrado de línea .....	44
Ilustración 10. Los 7 desperdicios en producción .....	51
Ilustración 11. Push vs Pull.....	54
Ilustración 12. Diferentes tipos de WIP.....	56
Ilustración 13. Fases de un proyecto en Grupo Antolín .....	57
Ilustración 14. Esquema del modelo en Arena para la primera práctica docente .....	66
Ilustración 15. Equilibrado de línea con lote de 20 unidades.....	72
Ilustración 16. Equilibrado de línea con lote de 5 unidades .....	73
Ilustración 17. Equilibrado de línea sin lotes.....	74
Ilustración 18. Tarea en la primera estación de trabajo .....	80
Ilustración 19. Tarea en la segunda estación de trabajo .....	81
Ilustración 20. Tarea en la tercera estación de trabajo.....	82
Ilustración 21. Tarea en la cuarta estación de trabajo con pieza válida.....	83

Ilustración 22. Tarea en la cuarta estación de trabajo con pieza no válida.....	83
Ilustración 23. Equilibrado de línea con lote de 5 unidades tipo PUSH .....	92
Ilustración 24. Equilibrado de línea con lote de 3 unidades tipo PULL.....	93
Ilustración 25. Equilibrado de línea sin lotes.....	94

## **11. ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>ANEXO I. GUIÓN DE LA PRÁCTICA: “PASS THE POST-ITS”</b> .....	115
<b>ANEXO II. GUIÓN DE LA PRÁCTICA: “PASS THE DOORS”</b> .....	125
<b>ANEXO III. PREGUNTA 4 DEL EXAMEN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y FABRICACIÓN DE MAYO DE 2017/2018</b> .....	141



## 12. BIBLIOGRAFÍA

- [HAMM14] Hammarberg, M., Sundén, J., “Kanban in Action”. Manning Publications Co. Shelter Island, NY, USA. 2014.
- [HEIK16] Heikkila, V. T., Paasivaara, M., Lassenius, C. “Teaching University Students Kanban with a Collaborative Board Game”. ICSE ’16 Companion. Austin, TX, USA. 2016.
- [LETE15] Letelier Torres, P. “Una actividad para enseñar el uso de tableros Kanban y diagramas de flujo acumulado”. Departamento de Sistemas Informáticos y Computación. Universidad Politécnica de Valencia. Andorra La Vella. 2015.
- [ICAI18] Departamento de Organización Industrial. Universidad Pontificia Comillas ICAI. “Lean Manufacturing”. Madrid. 2018.
- [WIKI18] Wikipedia. “Kanban Principles”.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Kanban\\_\(development\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Kanban_(development)) 2018.
- [TOLE09] Toledano de Diego, A., Mañes, N., Julián, S. “Las claves del éxito de Toyota. LEAN, más que un conjunto de herramientas y técnicas”. Cuadernos de Gestión Vol. 9. 2009.
- [AHL12] Ahlstrom, P., Modig, N., “This is Lean: Resolving the Efficiency Paradox”. Rheologica Publishing. Cambridge Judge Business School. United Kingdom. 2012
- [LIKE11] Liker, J.K., Franz, J.K., “The Toyota Way to Continuous Improvement: Linking Strategy and Operational Excellence to Achieve Superior Performance”. McGraw-Hill Education. Harvard, USA. 2011.
- [REIN09] Reinertsen, D., “The Principles of Product Development Flow: Second Generation Lean Product Development”. Celeritas Publishing. Redondo Beach, California, USA. 2009.
- [KNIB11] Kniberg, H., “Lean from the Trenches: Managing Large-Scale Projects with Kanban”. Pragmatic Bookshelf. Stockholm, Sweden. 2011.
- [SHOR07] Shore, J., Warden, S., “The Art of Agile Development”. O’Reilly Media, Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA. 2007.

[RIES11] Ries, E., “The Lean Startup: How Today’s Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses”. Crown Business. New York, USA. 2011.

[ANTO19] Antolín, G., Información sobre implementación de procesos con metodología Kanban. Burgos. 2019.

[LIKE06] Liker, J., “Las claves del éxito de Toyota”. Ediciones Gestión 2000, Barcelona. 2006.

[GRAC13] Gracia, S. D., “The implementation of Lean Six Sigma methodology”. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. 2013.



## **13. ANEXOS**



# ANEXO I. GUIÓN DE LA PRÁCTICA: “PASS THE POST-ITS”



## Sistemas de Producción y Fabricación

### Master de Ingeniería Industrial

#### *PRÁCTICA EN AULA*

#### *Pass the Post-its:*



**LISTA DE MATERIALES**

<b>COMPONENTE</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>IMAGEN</b>
<b>MESA</b>	<b>1</b>	
<b>POST-ITS</b>	<b>300</b>	
<b>BOLÍGRAFOS</b>	<b>4</b>	
<b>CRONÓMETROS</b>	<b>5</b>	
<b>PORTÁTIL</b>	<b>1</b>	

## **USO DEL MATERIAL**

- Cada grupo dispone de 300 post-its, 5 cronómetros, 4 bolígrafos y un ordenador
- Se pueden utilizar los cronómetros del dispositivo móvil
- En caso de duda sobre el funcionamiento de la práctica comunicarlo al profesor

## **CONTEXTO INDUSTRIAL DE LA PRÁCTICA**

Esta práctica se basa en la simulación de un proceso industrial donde se pretende reforzar el conocimiento sobre la importancia del WIP (Work In Process), y por qué la variabilidad de este concepto limita la producción final. En esta práctica el parámetro que se analiza es el tiempo total que un lote de producto tarda en ser procesado por todas las estaciones dependiendo del tamaño del mismo.

Esta práctica se desarrolla considerando tres fases, en una primera fase se considera que el producto puede ser transmitido a otra estación cuando se completa un lote de 20 unidades; en una segunda fase el tamaño del lote es de 5 unidades; y por último, en la última fase el tamaño del lote es de 1 unidad, es decir, en cuanto se procesa un producto pasa de una estación a otra sin tener que esperar a que la misma estación acabe con un número determinado de elementos procesados.

El funcionamiento óptimo de la práctica consiste en que los 4 trabajadores escriban su número de matrícula completo en el post-it (los nueve dígitos íntegros) que les llega, y los 4 supervisores contabilicen el tiempo que le lleva a cada trabajador escribir su número de matrícula en una cara del post-it, dependiendo del tamaño del lote, así como controlar el WIP, para finalmente proporcionar el WIP medio. Por último, el cliente determina el tiempo total que el primer post-it tarda en completar el ciclo de producción, y también, por otro lado, el tiempo en el que el último post-it es entregado al cliente.

El objetivo que se persigue es conocer la importancia y la influencia que tiene el tamaño de lote cuando se fabrica en un proceso industrial en línea. Para así conocer qué ocurre con el WIP cuando se aumenta o se disminuye el tamaño de lote de la producción en línea.

**APRENDIZAJE QUE SE CONSIGUE CON LA PRÁCTICA**

La práctica tiene por objeto el aprendizaje y refuerzo de conceptos que a continuación se enuncian:

- Conceptos sobre Lean Manufacturing y procesos Kanban.
- Principios de cálculo sobre el Lead Time, WIP, Throughput.
- Variación del tiempo total de ciclo en función de la variación del tamaño del lote.
- Análisis y diferenciación de procesos Pull y Push, comprendiendo qué marca el ritmo de producción del proceso.
- Capacidad de un proceso de producción en línea, así como identificación del cuello de botella del mismo.
- Beneficios de reducir el Lead Time.

## DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

- El papel de los miembros del grupo:

Los alumnos se agrupan en grupos de 9 personas. Cuatro de los miembros del grupo son los encargados de ir procesando los diferentes post-its por lotes. Otros cuatro de los miembros del grupo se colocarán en frente de cada trabajador para que, junto con un cronómetro (puede ser el móvil personal), puedan medir el tiempo que este trabajador tarda en procesar el tamaño de lote requerido en la práctica, y controlar el WIP. El último miembro del equipo restante, medirá el tiempo que el primer post-it tarda en ser procesado por los cuatro trabajadores, y también el tiempo total que tarda el último post-it en ser procesado por el último trabajador.

Los cuatro encargados de medir el tiempo total que tardan los trabajadores en cada una de sus estaciones en procesar los diferentes tamaños de lote de los post-its introducirán los resultados en una hoja de Excel. También lo hará así el miembro del equipo que se encarga de medir cuando el primer post-it llega al final, y cuando finaliza todo el proceso.

Consejos a la hora de desarrollar la práctica:

- a) Colocar los 100 post-its al lado del primer trabajador que tiene que procesarlos, escribiendo el número de matrícula a cada uno de ellos, de uno en uno.
- b) Los cuatro trabajadores se colocarán en línea, y los cuatro encargados de cronometrarles, igualmente en frente de ellos. Por último, el encargado de medir el tiempo final, se colocará al lado del último trabajador.
- c) Tener los cronómetros o móviles preparados para medir y reiniciar cuando sea necesario.
- d) El tiempo de cada estación empieza a contabilizar desde que están todos los post-its del lote indicado disponibles, y hasta que se escribe el último número de matrícula al último post-it y se deja sobre la mesa. Este tiempo deberá de ser controlado por cada cronometrador colocado enfrente de su correspondiente trabajador.

## **ANEXOS**

- e) Escribir el número de matrícula que pueda ser legible con cuidado a los post-its sin estropearlos ni doblarlos, y dejando espacio para que quepan los cuatro números de matrícula en columna.

- Las etapas de la práctica:

La práctica se divide en tres fases:

- a) La primera fase se inicia simulando un lote de 20 post-its de los 100 post-its disponibles. El primer trabajador cogerá el primer post-it de los 20 del lote, momento en el cual el cronometrador pondrá en marcha su reloj, hasta que coja el veinteavo post-it y escriba sobre él su número de matrícula, momento en el cual el cometido del primer trabajador habrá acabado, y por tanto su cronometrador parará el reloj. Seguidamente seguirán con el mismo proceso los trabajadores segundo, tercero y cuarto, así como sus cronometradores. Y, por último, el encargado de medir el tiempo total del proceso de la llegada del primer lote y también de medir el tiempo que toma todo el proceso en su conjunto, empezará a contabilizar el tiempo desde que comienza el proceso hasta que acaba. En este caso, solo va a haber cinco lotes de tamaño 20 unidades.

Los cinco cronometradores apuntarán sus datos en la hoja Excel facilitada para comparar los diferentes resultados al final de la práctica.

- b) La segunda fase consiste en procesar otros 100 post-its pero ahora en lotes de 5. Por lo tanto, ahora el segundo trabajador podrá empezar a procesar el primer lote cuando acabe el primer trabajador de procesar el mismo. En este caso, habrá un momento en el que se esté trabajando en las cuatro estaciones, ya que cada una de ellas estará procesando un lote, pero igualmente los cuatro trabajadores contabilizarán el tiempo total que tardan los trabajadores en procesar los 100 post-its (MUY IMPORTANTE: no parar el reloj cuando se acaba un lote, sino cuando se acaban los 100 post-its). El encargado de medir el tiempo total del proceso, llamado cliente, tomará nota del tiempo en el que llegue el primer lote, y además el tiempo que tarda en llegar el último lote, es decir, el tiempo en acabar todo el proceso.



Los cinco cronometradores apuntarán sus datos en la hoja Excel facilitada para comparar los diferentes resultados al final de la práctica.

- c) La tercera fase consiste en procesar los 100 post-its por separado, sin la creación de lotes. Por lo tanto, los cronometradores contabilizarán el tiempo que emplean cada uno de los cuatro trabajadores en procesar los 100 post-its. Además, el cronometrador, llamado cliente, contabilizará tanto el tiempo en que termina el proceso el primer post-it, y también cuándo llega el último post-it al final, y por tanto termina el proceso.

Los cinco cronometradores apuntarán sus datos en la hoja Excel facilitada para comparar los diferentes resultados al final de la práctica.

## **ANEXOS**

### **RESULTADOS A OBTENER**

Los resultados que se pretenden obtener mediante el desarrollo de esta práctica consisten en la recogida de los siguientes datos:

- Tiempo de permanencia del primer lote (lead time) de los lotes de tamaño de 20, 5 y de 1 unidad.
- Tiempo de permanencia del último lote (lead time) de los lotes de tamaño de 20, 5 y de 1 unidad.
- Tiempo total en el proceso de los 100 post-its cuando el tamaño del lote es de 20, 5 y 1 unidad.
- Tiempo de cada lote en cada estación.
- Tiempo máximo y mínimo de cada tipo de lote en cada estación.
- WIP (inventario en curso en línea) medio

### **PRUEBAS DE TIPO TEST**

Con antelación y posteriormente a la realización de la práctica el alumno realizará un examen tipo test de 3 preguntas a través de Moodle. El profesor indicará el inicio de las pruebas de tipo test.

Las preguntas del test posterior a la práctica se harán en la propia aula y contendrán preguntas sobre los conocimientos adquiridos en la práctica realizada. Estos exámenes servirán para favorecer y evaluar el aprendizaje alcanzado en el desarrollo de las prácticas por parte de los alumnos.

## INFORMACIÓN AUXILIAR

### **Video de compresión similar al procesamiento de dar la vuelta a post-its**

El siguiente video describe el proceso de dar la vuelta a diferentes monedas similar a nuestro proceso. En el siguiente link se puede visualizar dicho proceso:

<https://www.youtube.com/watch?v=fh4nkQnWL6I>

## DOCUMENTACIÓN E INDICACIONES PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA

- La documentación de la práctica dispone de un libro Excel, junto con el documento del desarrollo de la misma.
- Cada grupo ha de completar durante la práctica las actividades que indican en el guion para lo cual se requiere el uso de un libro Excel.
- Las preguntas de tipo test a la finalización de la práctica versarán sobre el aprendizaje adquirido durante la realización de la práctica.



## ANEXO II. GUIÓN DE LA PRÁCTICA: “PASS THE DOORS”



### Sistemas de Producción y Fabricación




### Master de Ingeniería Industrial

### *PRÁCTICA EN AULA*

### *Proceso Kanban:*



### LISTA DE MATERIALES (para un grupo de 9 personas)

Componente	Unidades	Fotografía
<b>Mesa</b>	1	
<b>Post-its cuadrados de color azul y amarillo</b>	150 azules 150 amarillos	
<b>2 lápices azul y 2 lápices negros</b>	4	
<b>Rotulador negro</b>	2	
<b>Cronómetros</b>	3	
<b>Portátil</b>	1	

## USO DEL MATERIAL

- Cada grupo dispone de 300 post-its de colores, 3 cronómetros, 2 rotuladores, 4 lápices de colores y un ordenador.
- Se pueden utilizar los cronómetros del dispositivo móvil
- En caso de duda sobre el funcionamiento de la práctica comunicarlo al profesor

## CONTEXTO INDUSTRIAL DE LA PRÁCTICA

Esta práctica se basa en la simulación de un proceso industrial donde se pretende reforzar el conocimiento sobre la importancia del WIP (Work In Process), el producto final acabado y cómo ambos condicionan la productividad de un proceso industrial. Además, se analizarán las mejoras que obtiene el proceso al aplicar los principios de la metodología Kanban. En esta práctica se refuerza la actitud de trabajar y planificar en equipo, y por tanto se espera que la comunicación entre los miembros del equipo sea fluida. Esta metodología intenta mejorar el proceso de producción, optimizando el tiempo de fabricación para producir productos y servicios con una alta calidad y cumpliendo con los tiempos de espera comprometidos con el cliente. Todo el proceso en su conjunto debe satisfacer las necesidades del cliente, sin que, por la mejora del mismo, el producto o servicio final sufra un incremento del precio de venta al consumidor, es decir, es un compromiso de los encargados del proceso de producción fabricar con la optimización de costes y tiempo para ofrecer al cliente un producto de la máxima calidad.

Por lo tanto, los procesos con metodología Kanban son una herramienta para controlar el ritmo de producción de los sistemas de producción y fabricación, de forma que se controla el ritmo de producción mediante el reemplazo de lo consumido. Así, solo se fabrica cuando es necesario, es decir, se evita producir cuando no es necesario y el desperdicio.

Para entender el funcionamiento de esta práctica docente es importante comprender el proceso productivo industrial en el que se basa. En este sentido, se va a diseñar teniendo en cuenta la línea de producción serie que utiliza una empresa de producción en la fabricación y ensamblaje

## *ANEXOS*

de puertas. Este proceso consiste en el montaje de las diferentes piezas que conforman la puerta de un vehículo, desde una estación de corte y estampación de dichas piezas, hasta pasar a una etapa de post-ensamblaje, pintura y montaje del cristal donde se montan las piezas desmontables de la puerta. Por último, la estación final del proceso es la estación de calidad, donde el encargado de la misma, revisa mediante técnica visual las especificaciones que se deben cumplir para que la puerta pueda ser aprobada por el cliente en su entrega.

El funcionamiento óptimo de la práctica consiste en que los 4 trabajadores desarrollen su cometido tal y como se mostrará en las instrucciones posteriormente, y los 4 supervisores contabilicen el tiempo que tardan en desarrollar su trabajo cuando se les pida, (tiempo de ciclo). Por otro lado, un trabajador medirá el tiempo de entrega al cliente (Lead Time) de los diferentes tamaños de lote. Además, otra persona controlará el número de materiales en curso (WIP), cuando estos también sean requeridos. El tercer controlador, será el encargado de determinar el cuello de botella del proceso. Por último, el cliente es el que requiere las especificaciones del producto final con sus determinadas características, y el que decide cuando se empieza a trabajar en la línea de producción, y quien determina cuando han transcurrido el tiempo de producción que los trabajadores levanten la mano y paren de fabricar.

Entre los miembros del equipo habrá un director de fábrica, quién establecerá el número de tarjetas Kanban necesarias para cumplir con la demanda del cliente, y fomentar un sistema de flujo de información adecuado y veloz en el sistema de producción.

Esta práctica se desarrollará durante unos 40 minutos en los que los miembros de cada equipo, tal y como se explicará en las instrucciones, desarrollarán su cometido rápidamente y cumpliendo con las especificaciones del cliente, que posteriormente decidirá si el producto final que le llega es o no válido. En la primera fase de 20 minutos, se simulará un proceso tipo Push, donde los trabajadores intentarán producir en las cantidades de lote requeridas todo lo posible. Los restantes 20 minutos, producirán simulando un proceso tipo Pull, conforme a la demanda que marque el cliente.

El objetivo que se persigue es conocer la importancia y la influencia que tiene la planificación del trabajo grupal conforme a las especificaciones del cliente. Para así conocer qué ocurre con el WIP cuando se aumenta o se disminuye la velocidad de la producción en línea.



A modo ilustrativo, se muestra un gráfico donde se pueden observar las diferencias existentes entre las diferentes metodologías de producción, Push vs. Pull:

<b>PUSH</b>	<b>PULL</b>
Producción contra stock	Producción contra demanda
Filosofía de “fabricar por si acaso”	Filosofía de “fabricar solo y nada más que lo necesario”
Estaciones sin apenas flujo de información	Comunicación fluida entre estaciones
Últimas estaciones sobrecargadas	Estaciones niveladas proporcionalmente con el trabajo
Alto inventario	Solo stock de seguridad
Difícil reorganización con cambios de pedidos	Fácil reorganización con cambios en la demanda
Alto desperdicio	Eficiencia en todo el proceso de producción

## **APRENDIZAJE QUE SE CONSIGUE CON LA PRÁCTICA**

La práctica tiene por objeto el aprendizaje y refuerzo de conceptos que a continuación se enuncian:

- Conceptos sobre Lean Manufacturing y procesos Kanban.
- Principios de cálculo sobre el Lead Time, Cycle Time, Throughput, y producto final.
- Planificación del total de productos terminados a cumplir en el plazo de tiempo establecido.
- Análisis y diferenciación de procesos Pull y Push, comprendiendo qué marca el ritmo de producción del proceso.
- Capacidad de un proceso de producción en líneas, así como identificación del cuello de botella del mismo.
- Comprender la influencia que tiene el desperdicio en la productividad de un proceso con metodología Kanban.
- Beneficios de un sistema de información centralizado.

## DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

El correcto desempeño de la práctica en clase consiste en crear unidades de puertas terminadas conforme a las especificaciones del cliente, las cuales añaden puntos al equipo cuando han sido acabadas; pero al mismo tiempo, evitar el desperdicio de puertas a medio terminar, las cuales deducen puntos de la puntuación final. El cliente pide puertas completas y con la calidad deseada, por lo tanto el equipo solo adquiere puntos cuando lo logra. El equipo que sume más puntos es el que gana.

Se va a desarrollar esta práctica en dos fases, estando cada fase dividida a su vez en dos, es decir, primero se simulará un sistema tipo **Push**, estando fabricando 10 minutos a toda velocidad sin tener que agrupar las puertas en lotes, y otros 10 minutos siendo el tamaño del lote 5 unidades. Por otro lado, se trabajará 10 minutos con metodología tipo **Pull** donde las órdenes vengán directamente del cliente, primero sin crear lotes, y posteriormente haciendo agrupaciones de 3 unidades.

- El papel de los miembros del grupo:

Los alumnos se agrupan en grupos de 9 personas, los mismos que en la práctica de *“Pass the Post-its”*. Cuatro de los miembros del grupo son los encargados de ir procesando las tareas que a continuación se explicarán.

De los otros cuatro miembros del grupo:

- Un alumno se colocará en frente del primer trabajador para, junto con un cronómetro (puede ser el móvil personal), medir el tiempo que este trabajador tarda en procesar su tarea (Tiempo de ciclo) cuando se le requiera por parte del noveno integrante del equipo (cliente). El cliente lo requerirá en cada una de las cuatro distinguidas partes de esta práctica en el minuto 3 y en el minuto 8, por ejemplo.
- Otro alumno contará el número de unidades de material en curso (WIP) que hay durante el proceso cuando el cliente se lo requiera. El cliente lo requerirá en cada una de las cuatro distinguidas partes de esta práctica en el minuto 4 y en el minuto 9, por ejemplo. También es necesario contabilizar el WIP cada vez que acaba el tiempo de producción para establecer los resultados por puntos.

## *ANEXOS*

- Un miembro del equipo será el encargado de determinar dónde se encuentra el cuello de botella. Y lo comunicará al cliente al final de cada parte del proceso.
- Un alumno se colocará en frente del último trabajador para, junto con un cronómetro (puede ser el móvil personal), medir el tiempo de entrega (Lead Time) al cliente del producto requerido. El cliente se lo requerirá en cada una de las cuatro distinguidas partes de esta práctica en el minuto 1 y en el minuto 10, por ejemplo.

El último miembro del equipo restante, será el que dé las órdenes de producción conforme a sus requerimientos (Color de contorno, color de ventana, color de almacenaje), con suficiente antelación para que en ningún momento los trabajadores estén ociosos, y por escrito, mediante tarjetas Kanban, para que pueda ser leído por el primer cronometrador a los trabajadores del equipo.

Cuando los cuatro miembros del equipo que se encargan de medir todas las variables descritas anteriormente recopilen los resultados al terminar el proceso de cada parte de la práctica, se lo comunicarán al cliente, quien escribirá los resultados en una hoja de Excel, provista en el ordenador.

Consejos a la hora de desarrollar la práctica:

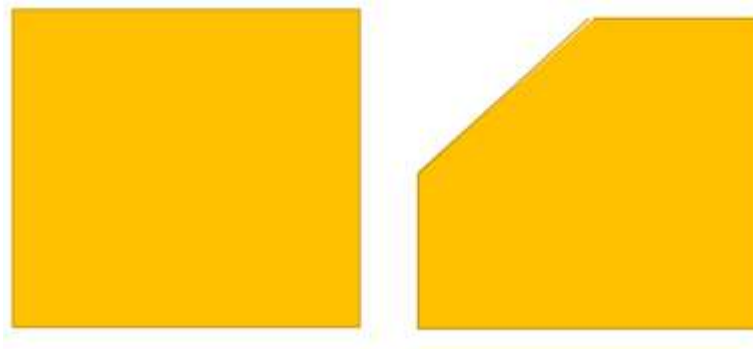
- a) Colocar los 300 post-its (150 amarillos y 150 azules) al lado del primer trabajador que tiene que procesarlos según sean los requerimientos del cliente. Y teniendo en cuenta que al tomar cualquier post-it, éste ya entraría en la línea de producción, y por lo tanto sería considerado como material en curso (WIP), con las consecuencias de que este hecho tiene cuando posteriormente no es utilizado.
- b) Los cuatro trabajadores se colocarán en línea, y los cuatro encargados de controlar las diferentes variables del proceso, igualmente en frente de ellos. Por último, el cliente, se colocará al lado del último trabajador.
- c) Tener los cronómetros o móviles preparados para medir cuando sea necesario.

- d) El tiempo empieza a contabilizar desde que el cliente da la primera orden de compra con sus respectivos requerimientos de color del contorno, ventana, y almacenaje. Además, en el momento que el cliente indique que han transcurrido los 10 minutos
- e) que dura cada una de las cuatro partes de la práctica, todos los trabajadores levantarán las manos y dejarán de trabajar en su tarea.
- f) Dibujar la ventana y el almacenaje de forma clara y con relación a las imágenes que más adelante se proporcionan. Es importante que el trabajo se haga con cuidado y respetando la calidad que exige el cliente, puesto que de no cumplirlo, el cliente puede devolver la puerta, desperdiciando tiempo que no sería productivo.

- Las estaciones de la práctica:

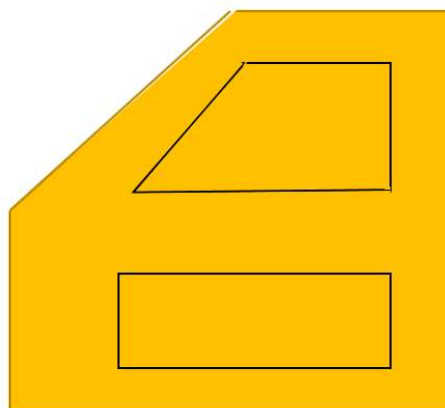
La práctica se divide en cuatro estaciones:

- a) La primera estación se inicia :
  - i. En método Push: cuando el primer trabajador toma el primer post-it para procesarlo según las especificaciones que se proporcionen antes de comenzar la práctica. Las especificaciones serán proporcionadas por el profesor de forma aleatoria a cada grupo mediante unas tarjetas tipo Kanban que indican el color de contorno, de ventana y de la zona de almacenaje de cada puerta.
  - ii. En método Pull: cuando el cliente da la primera orden de compra de puertas, entonces, el trabajador más cercano al cliente hará uso de las tarjetas Kanban provistas en la práctica para ir informando a las estaciones inmediatamente predecesoras (“marcha atrás”) de las órdenes de compra del cliente cada vez que éste las modifique. De esta forma, cada trabajador, a medida que le lleguen las tarjetas Kanban con las órdenes del cliente, cogerá el post-it del color del contorno que haya detallado el cliente (por ejemplo, amarillo), y le recortará la esquina superior izquierda tal y como se detalla en la siguiente ilustración.



En el momento en el que haya terminado de hacer esta tarea:

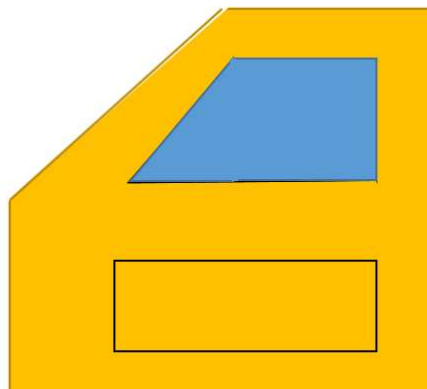
- i. Cuando no se produce considerando ningún tamaño de lote, pasará el material al trabajador número dos.
  - ii. Cuando se trabaja con un determinado tamaño de lote, el trabajador número dos, no podrá coger ninguna unidad hasta que no se haya completado el lote por completo. Será misión del controlador que se encuentra en frente del trabajador primero, comprobar que se cumple esta condición.
- b) La segunda estación consiste en dibujar el contorno de la ventana y el contorno del espacio de almacenaje de la puerta con un rotulador negro, de forma que tenga parecido con la ilustración que se presenta, e intentando hacer líneas rectas en todo momento, pues de no ser así el material en curso no será aceptado por el controlador de esta segunda estación.



En el momento en el que haya terminado de hacer esta tarea:

- i. Cuando no se produce considerando ningún tamaño de lote, pasará el material al trabajador número tres.
- ii. Cuando se trabaja con un determinado tamaño de lote, el trabajador número tres, no podrá coger ninguna unidad hasta que no se haya completado el lote por completo. Será misión del controlador que se encuentra en frente del trabajador segundo, comprobar que se cumple esta condición.

- c) La tercera estación consiste en colorear el interior de la ventana del color que el cliente quiera lo requiera (por ejemplo, azul). Es también trabajo del controlador de la estación tercera comprobar que se colorea por completo la ventana.

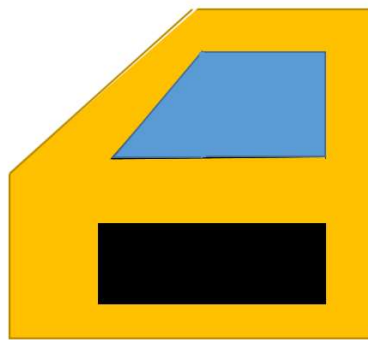


En el momento en el que haya terminado de hacer esta tarea:

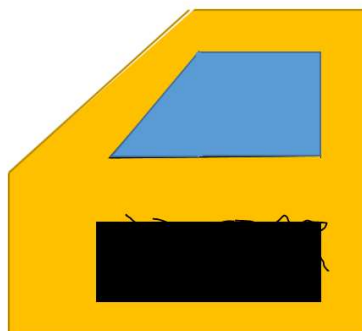
- i. Cuando no se produce considerando ningún tamaño de lote, pasará el material al trabajador número cuatro.
- ii. Cuando se trabaja con un determinado tamaño de lote, el trabajador número cuatro, no podrá coger ninguna unidad hasta que no se haya completado el lote por completo. Será misión del controlador que se encuentra en frente del trabajador tercero, comprobar que se cumple esta condición.

## ANEXOS

- d) La cuarta estación consiste en que el trabajador cuarto coloree con el color exigido por cliente (por ejemplo, negro) el interior del espacio de almacenaje sin salirse de los espacios delimitados y sin dejar huecos en el interior, porque posteriormente el cliente que se encuentra al final de la línea de producción determinará si la pieza es válida. Si la pieza no es válida será devuelta a la estación que sea necesaria para que sea corregida si es posible (por ejemplo, si el fallo es haberse salido coloreando del contorno del espacio de almacenaje la pieza no tendría reparación y sería desechada).



*Pieza aceptada*



*Pieza no aceptada*

En el momento en el que el cliente determine que la pieza es válida:

- i. Cuando no se produce considerando ningún tamaño de lote, la pieza pasará de ser considerada WIP a producto final.



- ii. Cuando se trabaja con un determinado tamaño de lote, hasta que no se haya completado el lote por completo, no podrá considerarse producto final todo el lote por completo.

Las tarjetas Kanban que serán proporcionadas por el profesor (tipo Push) o por el cliente (tipo Pull) tienen todas las combinaciones posibles de opciones a la hora de ordenar un pedido de puertas:

- Puertas azules con ventanas negras y almacenaje negro.
- Puertas amarillas con ventanas azules y almacenaje negro.
- Puertas amarillas con ventanas negras y almacenaje negro.

Cuando las órdenes las dé el cliente (tipo *Pull*), éstas serán dadas con suficiente antelación, para que en ningún momento la línea de producción se detenga por falta de pedido. Además, el cliente entregará al trabajador más cercano a él las tarjetas Kanban con sus requerimientos, de forma que este trabajador irá informando “aguas arriba” a los trabajadores que inmediatamente lo anteceden sobre los cambios a realizar según hayan sido las órdenes del cliente.

## **RESULTADOS A OBTENER**

Los resultados que se pretenden obtener mediante el desarrollo de esta práctica consisten en la recogida de los siguientes datos:

- Tiempo de ciclo de cada estación cuando el cliente lo pida.
- Visualización del comportamiento del trabajo en curso (WIP).
- Lead Time de cada puerta aceptada cuando lo pida el cliente.
- Lead Time medio de las puertas aceptadas por el cliente.
- Lead Time máximo de las puertas aceptadas por el cliente.
- Lead Time mínimo de las puertas aceptadas por el cliente.
- Identificación del cuello de botella.
- Identificación del trabajador más ocioso.
- Número total de puertas aceptadas por el cliente.
- Número total de material en curso (WIP) al acabar el tiempo de producción.
- Número de tarjetas Kanban en cada una de las cuatro fases de la práctica.

## PUNTUACIÓN DE LAS UNIDADES TERMINADAS Y WIP

A continuación, se muestra los puntos que se obtienen por cada unidad de puerta terminada y aceptada por el cliente. Además, también se presentan los puntos que se descuentan cuando una puerta es rechazada por el cliente y no tiene posibilidad de ser arreglada.

Por otro lado, el material en curso que quede dentro de la línea de producción al acabar el tiempo de producción también descontará puntos. Se considerará trabajo en curso, cualquier folio que se esté utilizando hasta el momento que corresponda a la puerta en sí, como también el marco de las ventanas que se han de pegar de distinto color.

Se aplicará la siguiente fórmula para calcular la puntuación final del equipo:

$$\text{Puntos} = 10x\text{PuertaAceptada} - 10x\text{PuertaRechazada} - 5x\text{WIP}$$

Una puerta aceptada es una puerta que cumple con las especificaciones dadas en tiempo y forma.

Una puerta rechazada es una puerta que por un error insalvable no puede ser reutilizada conforme a las especificaciones y por tanto se considera de este modo.

El WIP se refiere al terminar el proceso de producción de una de las cuatro fases de 10 minutos

### **PRUEBAS DE TIPO TEST**

Con antelación y posteriormente a la realización de la práctica el alumno realizará un examen tipo test de 3 preguntas a través de Moodle. El profesor indicará el inicio de las pruebas de tipo test.

Las preguntas del test posterior a la práctica se harán en la propia aula y contendrán preguntas sobre los conocimientos adquiridos en la práctica realizada. Estos exámenes servirán para favorecer y evaluar el aprendizaje alcanzado en el desarrollo de las prácticas por parte de los alumnos.

### **DOCUMENTACIÓN E INDICACIONES PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA**

- La documentación de la práctica dispone de un libro Excel, junto con el documento del desarrollo de la misma.
- Cada grupo ha de completar durante la práctica las actividades que indican en el guion para lo cual se requiere el uso de un libro Excel.
- Las preguntas de tipo test a la finalización de la práctica versarán sobre el aprendizaje adquirido durante la realización de la práctica.

# ANEXO III. PREGUNTA 4 DEL EXAMEN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y FABRICACIÓN DE MAYO DE 2017/2018



Sistemas de Producción y Fabricación  
Prueba Final  
1º Master de Ingeniería Industrial  
11 de mayo de 2018

## 4

Apellidos.....Nombre.....Grupo.....

**Instrucciones parte prueba de problemas (6 puntos):**

- Duración conjunta (problemas 3 y 4): 60 minutos
- Se permite el uso de computadora sin capacidad de almacenamiento de información
- Cada problema se resuelve en hojas separadas (toda hoja no identificada tendrá valor nulo)

**Problema 4. (2 puntos)**

La empresa de armarios MISROPEROS S.L. fabrica tres modelos de armarios Arcadia (A), Basilea (B) y Colonia (C) de modernos diseños cada uno de ellos. Desde el punto de vista de la manufactura, los tres tipos de armarios no presentan diferencias en los tiempos de preparación y corte de las maderas o ensamblado final de cada conjunto. Los armarios se ensamblan a partir de 4 códigos de piezas diferentes según la siguiente BOM:

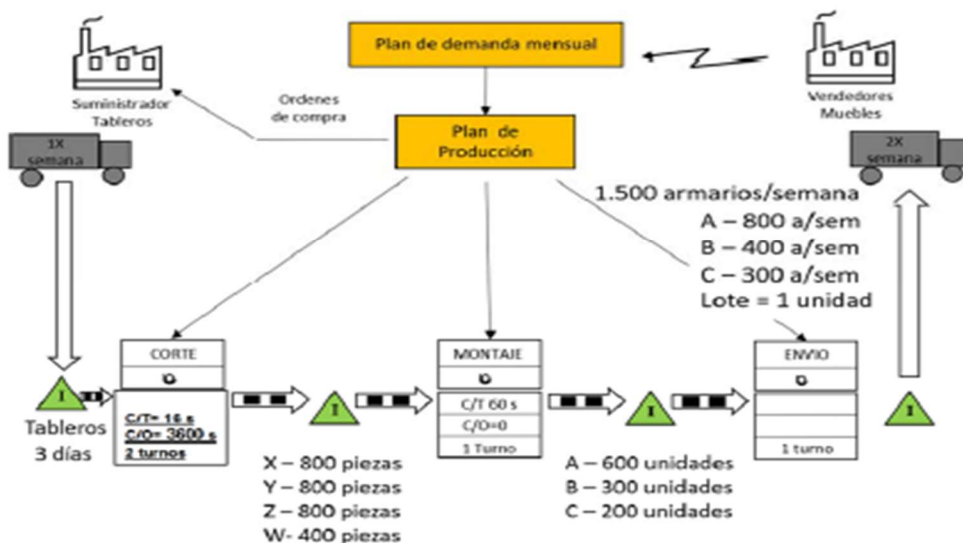


La demanda de armarios por parte de los clientes en una semana se reparte de la siguiente forma: 800 A, 400 B y 300 C. Los pedidos de armarios se aceptan en lotes unitarios. El proveedor de madera envía un camión de tableros por semana y se mantiene un stock de entrada en la fábrica de 3 días al principio de los procesos.

El proceso de fabricación de armarios tiene dos procesos principales:

1. corte de piezas cuyo tiempo de ciclo es de 16 segundos/pieza (1 hora en cambio de modelo).
2. montaje de armarios con un tiempo de ciclo de 60 segundos por armario
3. expedición tiempo (el tiempo de manutención por armario no es relevante)

La fábrica trabaja 5 días a la semana. En Corte se tienen 2 turnos de 7 horas efectivas cada uno, en Montaje y Envío se tiene 1 turno de 7 horas efectivas.



## 4

Se pide:

- Calcular el takt time de un armario de cualquier tipo (0.2).
- ¿Dónde está situado el cuello de botella del proceso y por lo tanto, qué recurso marca el ritmo producción del sistema? Razónalo con 1 y 2 turnos en Corte (0.3).
- Determina el lead time de un producto unitario (de cualquier modelo de armario) en la planta de fabricación, desde el almacén de materia prima de entrada hasta la entrada del almacén de Envíos con los stocks intermedios que se indican. Identificar el tiempo que se añade valor y el que no se lo añade. Se consideran 2 turnos de corte (0.4).

Se quiere implantar un sistema de producción Pull utilizando kanban en los procesos de montaje y corte. El proveedor de tableros va a pasar a entregar 1 vez al día para mantener un inventario de tableros en almacén de 0,5 días. Los kanban a utilizar van a ser todos de capacidad unitaria (1 kanban = 1 producto).

Se cambia la tecnología de corte pasando el C/T a 8 segundos por pieza, se mantiene el C/O en 1 hora por cambio de modelo y se tiene 1 turno de Corte.

El tiempo medio de espera de una pieza cortada antes de pasar a montaje es de 1 hora y el nivel de seguridad deseado es del 25%. Considerar que cada código de tablero, tiene su propio kanban.

Después de montarse los armarios, se preparan para su expedición embalado en paquetes unitarios en un punto de stock. Las entregas al cliente se realizarán varias veces al día y el tiempo medio de espera de los armarios es de 1 hora. Se requiere un nivel de seguridad del 50%.

- Completar el futuro Value Stream Map (0.3).
- ¿Cuántos kanban serán necesarios para gestionar el proceso de corte (C) y de montaje (M)? (0.3)
- ¿En qué proporción estarán repartidos los kanban en el supermercado C de las diferentes piezas en el corte y en los kanban en el supermercado M de los distintos tipos de armario en montaje? (0.3)
- Para reducir el tiempo de cambio de modelo en Corte a cero ¿qué herramienta Lean sugieres aplicar y donde lo harías? ¿Dónde se situaría entonces el cuello de botella del proceso? Después de aplicar esta mejora ¿Cuántos armarios cómo máximo podrán salir a la semana hacia los clientes? (0.2)



#### Solución Problema 4

Se pide:

- a) Calcular el takt time de un armario de cualquier tipo (0.2).

$$\text{Takt time por producto} = \frac{1 \text{ turno} \times 7 \text{ horas} \times 3600 \text{ segundos} \times 5 \text{ días}}{1500} = 84 \text{ segundos}$$

- b) ¿Dónde está situado el cuello de botella del proceso y por lo tanto, qué recurso marca el ritmo producción del sistema? Razónalo con 1 y 2 turnos en Corte (0.3).

*Con 1 turno en Corte el cuello de botella está en el corte de piezas ya que el tiempo necesario para producir las tablas del armario completo según la BOM es 7 piezas x 16 segundos = 112 segundos. Del proceso solo pueden salir 1125 armarios/semana lo que hará que los clientes dejen de recibir 375 armarios cada semana.*

*Con 2 turnos en Corte el cuello de botella está en la demanda que marca el ritmo de producción al valor del takt time del apartado a)*

- c) Determina el lead time de un producto unitario (de cualquier modelo de armario) en la planta de fabricación, desde el almacén de materia prima de entrada hasta la entrada del almacén de Envíos con los stocks intermedios que se indican. Identificar el tiempo que se añade valor y el que no se lo añade. Se consideran 2 turnos de corte (0.4).

$$\text{Tiempo espera inventario corte-montaje} = \frac{\text{piezas para 400 armarios} \times 84 \text{ segundos}}{1 \text{ turno} \times 7 \text{ horas} \times 3600 \text{ segundos}} = 1.33 \text{ días}$$

$$\text{Tiempo espera inventario montaje-envío} = \frac{(600+300+200) \times 84 \text{ segundos}}{1 \text{ turno} \times 7 \text{ horas} \times 3600 \text{ segundos}} = 3.66 \text{ días}$$

$$\text{Tiempo proceso por armario} = (112 + 60) = 172 \text{ segundos} (0,047 \text{ horas} \gg 0,047/7=0.0068 \text{ días})$$

$$\text{Lead time} = 3 + 1.33 + 3.66 + 0.0068 = 7.997 \text{ días}$$

*El tiempo que no añade valor es 7,99 días (99%)*

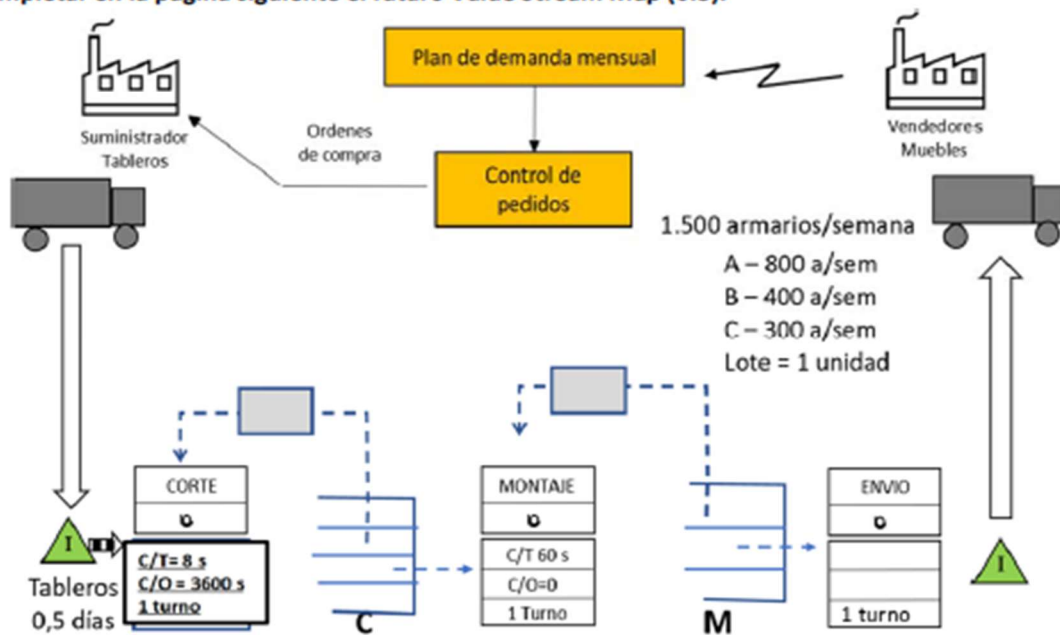
Se quiere implantar un sistema de producción Pull utilizando kanban en los procesos de montaje y corte. El proveedor de tableros va a pasar a entregar 1 vez al día para mantener un inventario de tableros en almacén de 0,5 días. Los kanban a utilizar van a ser todos de capacidad unitaria (1 kanban = 1 producto).

Se cambia la tecnología de corte pasando el C/T a 8 segundos por pieza, se mantiene el C/O en 1 hora por cambio de modelo y se tiene 1 turno de Corte.

El tiempo medio de espera de una pieza cortada antes de pasar a montaje es de 1 hora y el nivel de seguridad deseado es del 25%. Considerar que cada código de tablero, tiene su propio kanban.

Después de montarse los armarios, se preparan para su expedición embalado en paquetes unitarios en un punto de stock. Las entregas al cliente se realizarán varias veces al día y el tiempo medio de espera de los armarios es de 1 hora. Se requiere un nivel de seguridad del 50%.

d) Completar en la página siguiente el futuro Value Stream Map (0.3).



e) ¿Cuántos kanban serán necesarios para gestionar el proceso de corte (C) y de montaje (M)? (0.3)

$$\text{Número de contenedores } C = \frac{\left(\frac{1}{24}\right) \times (8 \times 7 + 3600)}{1 \text{ unidad/contenedor}} \times 1,25 = 54,40 \gg 55 \text{ kanban.}$$

$$\text{Número de contenedores } M = \frac{\left(\frac{1}{24}\right) \times (60 + 3600)}{1 \text{ unidad/contenedor}} \times 1,50 = 65,35 \gg 66 \text{ kanban.}$$

f) ¿En qué proporción estarán repartidos los kanban en el supermercado C de las diferentes piezas en el corte y en los kanban en el supermercado M de los distintos tipos de armario en montaje? (0.3)





Sistemas de Producción y Fabricación  
Prueba Final  
1º Master de Ingeniería Industrial  
11 de mayo de 2018

- $C = 16$  kanban para laterales X, 16 kanban para tapas Y, 16 kanban para puertas Z y 7 para traseras W
  - $M = 36$  kanban tipo A, 18 kanban tipo B y 14 kanban tipo C. Se redondea siempre hacia arriba, aunque el número total de kanban acabe siendo 68 unidades.
- g) Para reducir el tiempo de cambio de modelo en Corte a cero ¿qué herramienta Lean sugieres aplicar y donde lo harías? ¿Dónde se situaría entonces el cuello de botella del proceso? Después de aplicar esta mejora ¿Cuántos armarios cómo máximo podrán salir a la semana hacia los clientes? (0.2)
- Aplicar SMED en corte de piezas.
  - El cuello de botella del suministro seguiría siendo el mercado.
  - El número máximo de armarios que se pueden producir a la semana lo determina la capacidad de la estación de montaje (que ha pasado a ser el recurso más lento) =  $2.100$  armarios/semana ( $=7 \cdot 5 \cdot 3600/60$ ).

