

Trabajo de Fin de Carrera
Grado Universitario en Ingeniería de
Organización Industrial

La importancia de los Cuellos de Botella para la
optimización de los procesos productivos

Autor: Gonzalo Abdselam Miró

Tutor: Juan Manuel González Ramírez

Dpto. Organización Industrial y Gestión de
Empresa II
Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2024



Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería de Organización Industrial

La importancia de los Cuellos de Botella para la optimización de los procesos productivos

Autor:

Gonzalo Abdselam Miró

Tutor:

Juan Manuel González Ramírez

Profesor asociado

Dpto. Organización Industrial y Gestión de Empresa II

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2024

Proyecto Fin de Carrera: La importancia de los Cuellos de Botella para la optimización de los procesos productivos

Autor: Gonzalo Abdselam Miró

Tutor: Juan Manuel González Ramírez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2024

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

A mis compañeros, por ayudarme y acompañarme durante estos años.

A mis padres, siempre guiándome y aconsejándome.

A todos los tutores de la Escuela, que tanto conocimiento me han aportado, especialmente a mi tutor Juan Manuel González Ramírez, que me ha apoyado a realizar este Trabajo Fin de Grado que tanta ilusión me hacía.

Gonzalo Abdselam Miró
Estudiante de la Universidad de Sevilla
Sevilla, 2024

Resumen

Capítulo 1. Objetivos. En este proyecto se va a profundizar sobre los procesos de optimización, centrándose en dos metodologías; Lean Six Sigma y la Teoría de las Restricciones (TOC). Se enfoca en los procesos productivos, pero también hace referencia a la importancia de estas metodologías en empresas de servicios.

Capítulo 2. Se comienza con una introducción, en la que se narra la historia y evolución de los sistemas de producción a lo largo de nuestra historia. Desde la producción artesanal, expandida en la Edad Media, hasta el Lean Manufacturing, que permitió el auge de la industrial japonesa tras su derrota en la Segunda Guerra Mundial.

Capítulo 3. Posteriormente, se describen los principales conceptos que se aplican en los procesos productivos actuales, como productividad, tiempo de ciclo o flexibilidad. Posteriormente se destaca la importancia de las operaciones en la estrategia de una empresa, las cuales son esenciales para llevar a cabo una estrategia competitiva.

Capítulo 4. En este capítulo se indaga aún más en la producción. Se describen los tipos de procesos de producción que hay, dependiendo del momento en el que se empiece a fabricar (antes o después de haberse realizado el pedido) y del flujo utilizado (producción continua, en masa o por lotes). También se detalla la importancia del tamaño del lote, que dependerá de: la variedad de productos, el coste unitario del proceso, el tipo de entrega y el tiempo de cambio entre un lote y otro.

Capítulo 5. Este capítulo es esencial para poder comprender bien el capítulo 6, ya que hace de introducción a un concepto muy importante en la metodología TOC, los cuellos de botella. Un cuello de botella es aquella restricción que produce menos de lo que pide la demanda.

Capítulo 6. Es la parte más importante del trabajo. Se describen las dos metodologías destacadas del proyecto (LSS y TOC). ¿Cuáles son sus ventajas y desventajas? ¿Qué tienen en común y en qué se diferencian?

LSS combina dos importantes metodologías actuales: Lean y Six Sigma. Con Lean trata de una organización con una serie de herramientas (Mapa flujo de Valor, Sistema de prioridades, Gestión Visual, Kanban, etc.) y eliminar todo tipo de desperdicios para conseguir una línea equilibrada, en la que toda la planta se adapta a la demanda. Además, usa Six Sigma para reducir la variabilidad en los propios procesos.

TOC defiende que la variabilidad siempre existirá, hay factores que no se pueden controlar (fluctuaciones estadísticas), por lo que enseña a convivir y a aprender a utilizar esta variabilidad. La línea desequilibrada es lo óptimo y flexible para una organización.

Capítulo 7. Para llevar toda esta teoría a la práctica, se han analizado tres casos prácticos:

El primero trata de una simple excursión, que muestra la importancia de los cuellos de botella con un caso muy sencillo.

El segundo es algo más complejo. El nuevo director de producción se encuentra en una situación complicada, en la cual tendrá que utilizar TOC para solucionar el problema del negocio. Con una correcta gestión de los cuellos de botella, consigue los objetivos.

Ya se ha visto un caso en el que TOC funciona, ahora, con el tercer caso práctico, se analiza una empresa de servicios (un restaurante) desde una perspectiva Lean.

Con este capítulo se hace referencia a la importancia de saber gestionar bien un negocio, ya sea una planta de producción o una empresa de servicios. No siempre hay una metodología concreta que resuelva todos los problemas, por ello, es necesario conocerlas y saber aplicarlas dependiendo de la situación.

Capítulo 8. Por último, se ha realizado una simulación de una línea de producción compuesta por seis máquinas, en la que se ha comparado las diferentes metodologías expuestas anteriormente (Lean, LSS y TOC). Se han comparado y examinado sus ventajas y desventajas.

Abstract

Chapter 1. Objectives. This project will delve into optimization processes, focusing on two methodologies: Lean Six Sigma and Theory of Constraints (TOC). It centers on production processes but also alludes to the significance of these methodologies in service-oriented businesses.

Chapter 2. It begins with an introduction narrating the history and evolution of production systems throughout our history. From artisanal production, prevalent during the Middle Ages, to Lean Manufacturing, which enabled the resurgence of the Japanese industry after its defeat in World War II.

Chapter 3. Subsequently, the main concepts applied in current production processes are described, such as productivity, cycle time, and flexibility. The importance of operations in a company's strategy is then emphasized, as they are essential for executing a competitive strategy.

Chapter 4. In this chapter, a deeper exploration into production is conducted. The types of production processes are described, depending on when manufacturing begins (before or after receiving an order) and the flow used (continuous, mass, or batch production). The significance of batch size is also detailed, dependent on product variety, unit process cost, delivery type, and changeover time between batches.

Chapter 5. This chapter is crucial for a thorough understanding of Chapter 6, serving as an introduction to a very important concept in the Theory of Constraints (TOC) methodology: bottlenecks. A bottleneck is a constraint that produces less than what the demand requires.

Chapter 6. This is the most significant part of the work. The two highlighted methodologies of the project (LSS and TOC) are described. What are their advantages and disadvantages? What do they have in common, and how do they differ?

LSS combines two significant current methodologies: Lean and Six Sigma. With Lean, it focuses on organizing an array of tools (Value Stream Mapping, Priority System, Visual Management, Kanban, etc.) to eliminate all types of waste and achieve a balanced line where the entire plant adapts to demand. Additionally, it utilizes Six Sigma to reduce variability in the processes themselves.

TOC argues that variability will always exist, and there are factors beyond control (statistical fluctuations). Therefore, it teaches how to coexist with and harness this variability. An unbalanced line is considered optimal and flexible for an organization.

Chapter 7. To put all this theory into practice, three practical cases have been analyzed:

The first one involves a simple excursion, demonstrating the importance of bottlenecks with a very straightforward scenario.

The second case is a bit more complex. The new production director is in a challenging situation where they have to use TOC to solve the business problem. With proper bottleneck management, they achieve the objectives.

Having seen a case where TOC works, now, with the third practical case, a service company (a restaurant) is analyzed from a Lean perspective. This chapter emphasizes the importance of effectively managing a business, whether it's a production plant or a service company. There isn't always a specific methodology that solves all problems, so it's necessary to be aware of them and know how to apply them depending on the situation.

Chapter 8. Finally, a simulation of a production line consisting of six machines has been conducted, comparing the different methodologies mentioned earlier (Lean, LSS, and TOC). Their advantages and disadvantages have been compared and examined.

Agradecimientos	vii
Resumen	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
1 Índice de Tablas	xv
Índice de Ilustraciones	xvi
2 Objetivos	1
3 Introducción	3
4 Análisis de procesos	5
4.1 <i>Conceptos básicos</i>	5
4.2 <i>¿Por qué son importantes las operaciones en la estrategia de una empresa?</i>	6
5 procesos de producción	11
5.1 <i>Tipos de procesos de producción</i>	11
5.1.1 <i>Según el comienzo de la producción, ¿antes o después de aceptar un pedido?</i>	11
5.1.2 <i>Según el flujo utilizado para producir los productos</i>	12
5.2 <i>Tiempo de producción</i>	13
5.2.1 <i>Etapas:</i>	13
5.2.2 <i>Maneras de reducir el tiempo de producción</i>	13
6 Cuellos de botella	14
6.1 <i>Ejemplos de cuello de botella</i>	14
6.2 <i>Motivos por los que se genera un cuello de botella</i>	14
6.3 <i>Tipos de Cuellos de Botella:</i>	15
6.4 <i>Tipos de restricciones</i>	15
7 Metodologías	16
7.1 <i>¿Cuál es el método idóneo para optimizar un proceso productivo?</i>	16
7.2 <i>Lean</i>	16
7.2.1 <i>Pilares del Lean</i>	16
7.2.2 <i>Tipos de despilfarros</i>	17
7.2.3 <i>Actividades para un correcto Lean</i>	18
7.3 <i>Six Sigma</i>	23
7.3.1 <i>Niveles según el rendimiento:</i>	23
7.3.2 <i>Metodología DMAIC</i>	23
7.4 <i>Lean Six Sigma (LSS)</i>	24
7.4.1 <i>Lean</i>	25
7.4.2 <i>Six Sigma</i>	25
7.5 <i>Teoría de las restricciones (TOC)</i>	25

7.6	<i>LSS vs TOC</i>	27
7.6.1	Puntos en común	27
7.6.2	Principales diferencias	27
8	Casos prácticos	30
8.1	<i>Excursión de Beltrán</i>	30
8.2	<i>Caso Mister Bocadoillos S.L</i>	31
8.2.1	Enunciado y explicación:	31
8.2.2	Solución:	33
8.3	<i>Caso Venta González</i>	39
8.3.1	Introducción	39
8.3.2	Solución	41
8.3.3	Proceso Lean	42
9	Simulación para comparar Lean, LSS y TOC	48
9.1	<i>Simulación 1. Aplicación de una línea equilibrada Lean.</i>	48
9.2	<i>Simulación 2. Planta equilibrada aplicando Lean Six Sigma.</i>	49
9.3	<i>Simulación 3. Uso de la TOC de manera "inadecuada"</i>	50
9.4	<i>Simulación 4. Aplicación de LSS al cuello de botella.</i>	52
9.5	<i>Simulación 5. Aplicación de LSS a todo el sistema</i>	53
9.6	<i>Simulación 6. LSS a todo el sistema + Aumento de la capacidad del Cuello de Botella.</i>	54
9.7	<i>Resumen de los resultados obtenidos</i>	55
10	Conclusiones	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Pick chart	20
Tabla 2. Niveles Six Sigma	23
Tabla 3. Resultados en caso de producir solo un tipo de Bocadillo	37
Tabla 4. Resultados en caso de producir Bocadillos Salad y luego de Hamburguesa	37
Tabla 5. Resultados en caso de implementar un segundo turno de trabajo	38
Tabla 6. Resultados en caso de implementar un tercer turno de trabajo	38
Tabla 7. Resultados en caso de comprar otra dispensadora	39
Tabla 8. Primeras dos rondas de procesado Simulación 1	49
Tabla 9. Resultados Simulación 1	49
Tabla 10. Primeras dos rondas de procesado Simulación 2	50
Tabla 11. Resultados Simulación 2	50
Tabla 12. Primeras dos rondas de procesado Simulación 3	51
Tabla 13. Resultados Simulación 3	51
Tabla 14. Primeras dos rondas de procesado Simulación 4	52
Tabla 15. Resultados Simulación 4	52
Tabla 16. Primeras dos rondas de procesado Simulación 5	53
Tabla 17. Resultados Simulación 5	53
Tabla 18. Primeras dos rondas de procesado Simulación 6	54
Tabla 19. Resultados Simulación 6	54
Tabla 20. Resultados Simulación 6 con sobrecapacidad	55
Tabla 21. Resumen simulación 1	55
Tabla 22. Resumen simulación 2	56
Tabla 23. Resumen simulación 3	56
Tabla 24. Resumen simulación 4	57
Tabla 25. Resumen simulación 5	57
Tabla 26. Resumen simulación 6	58
Tabla 27. Resumen simulación 6.2	58

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Lean Manufacturing y sus herramientas.	17
Ilustración 2. Ejemplo de pizarra Kanban	20
Ilustración 4. Metodología DMAIC detallada	24
Ilustración 5. Árbol de causas	29
Ilustración 6. Representación inicial excursión Beltrán	30
Ilustración 7. Representación final excursión Beltrán	31
Ilustración 8. Cadena productiva caso Míster Bocado	33
Ilustración 9. Producción de Bocadillos de Bacon	35
Ilustración 10. Producción de Bocadillos de Hamburguesa	35
Ilustración 11. Producción de Bocadillos Salad	36
Ilustración 12. Disposición del local Venta González antes del cambio	41
Ilustración 13. Árbol de causas Venta González antes del cambio	42
Ilustración 14. Disposición del local Venta González después del cambio	43
Ilustración 15. Movimientos de los empleados dentro del local Venta González después del cambio	45

1 OBJETIVOS

“Siempre se ha comparado el sistema productivo con una cadena, cuya resistencia a la ruptura se basa precisamente, en la resistencia de cada uno de sus eslabones: la cadena resulta ser tan fuerte como el más débil de sus eslabones”

- Néstor Casas -

Me apasiona todo lo que tenga que ver con optimizar al máximo una organización, desde una planta industrial con cientos de empleados hasta una simple tienda de galletas o un bar, y para ello es fundamental estudiar los cuellos de botella, ya que son los que marcan el ritmo de cualquier organización.

El objetivo de realizar este proyecto es el de poder evaluar los conocimientos, las habilidades y las competencias adquiridas a lo largo de mi formación académica, en especial la orientada a la mejora continua y a los sistemas de producción y optimización, con metodologías como Lean, Six Sigma o la Teoría de las Restricciones, ya que han sido los temas académicos que más me han llamado la atención, y a lo que me gustaría dedicarme en un futuro.

Para desarrollar y demostrar la importancia de los cuellos de botella en la optimización de las organizaciones, cogeré ejemplos de situaciones reales, en las que aplicando alguna de las teorías que se expondrán a continuación, mejorarán notablemente el rendimiento y las ganancias de cualquier empresa.

2 INTRODUCCIÓN

A lo largo de nuestra historia, han existido distintos sistemas productivos, adecuándose a las diferentes épocas. Los cambios en la sociedad, el desarrollo tecnológico y las necesidades de cada momento, son algunas de las causas que han provocado la constante innovación y cambios en la producción.

Evolución de los sistemas de producción:

1. **Producción artesanal.** Usándose desde los orígenes de la humanidad hasta nuestros días, es uno de los métodos más conocidos, teniendo su auge desde el año 1.000 D.C hasta el siglo XVIII. Su uso se debía a la falta de tecnología avanzada, eran productos que se fabricaban a mano, sin división de trabajo, los artesanos controlaban íntegramente el proceso, se dedicaban a la fabricación del producto desde el principio hasta su finalización.
2. **Producción a gran escala.** A mediados del siglo XVIII surge la primera revolución industrial, en invento de la máquina de vapor, el ferrocarril o la máquina de hilar cambiarían para siempre la manera de producir. Esta etapa se caracterizó por el uso de nuevas tecnologías aplicadas a la producción en gran escala. El objetivo era producir la mayor cantidad posible de cualquier producto que desease la sociedad. El trabajo que anteriormente se hacía manualmente, ahora se sustituiría en medida de lo posible por máquinas, que aumentarían la productividad a niveles nunca vistos.
3. **Producción en serie.** En el 1.880 se inicia la Segunda Revolución Industrial, con el reemplazo del vapor por la electricidad y los derivados del petróleo como fuente de energía. Este uso del petróleo inicia la introducción del motor de combustión interna, comenzando a comercializarse el automóvil. Esto conlleva a una **producción en masa** de bienes de consumo.

Debido a las nuevas necesidades y a la complejidad de los procesos de producción, surgen nuevos sistemas organizativos, acentuándose la división del trabajo y su especialización.

Aquí aparece Frederic W. Taylor, considerado el padre de la ingeniería industrial. Se percató de que no existía ningún tipo de norma en las operaciones, todo se planificaba “sobre la marcha”, sin planear nada, por lo que los trabajadores laboraban a un ritmo deliberadamente lento. Los trabajadores estaban colocados en los puestos sin tener en cuenta sus habilidades y aptitudes y su acoplamiento con las tareas que se les exigía.

Taylor daba comienzo a las operaciones como ciencia, quería darle sentido a todo aquello que se hacía en los procesos, con el objetivo de establecer métodos eficaces que se estandarizasen y fueran cumplidos por todos los trabajadores, consiguiendo la eficiencia de la mano de obra, de las máquinas y de las herramientas de las que se disponía.

Poco después llegó Henry Ford, accionista y empleado de la Ford Motor Company, que estaba tratando diseñar un automóvil fácil de producir de y reparar, para que todo el mundo en Norteamérica pudiese tener uno, y abandonar la producción artesanal, que era costosa y lenta. Se trataba de una fabricación masiva, buscando la rapidez, la reducción de costos y la mayor eficacia posible, pudiendo estar al alcance de cualquier ciudadano. Surge la fabricación en cadena, en la que las máquinas juegan un rol importante. Todo iba en una misma línea de montaje, desde el principio hasta el final, a base de correas de transmisión y guías de deslizamiento se iba desplazando el chasis del automóvil hasta los puestos de

los trabajadores. En resumen, cada operación quedaba dividida en una sucesión de tareas mecánicas y repetitivas, que simplificaba el proceso y permitía una mayor producción.

4. **Lean.** Tras la Segunda Guerra Mundial, los japoneses atravesaban grandes dificultades, les quedaban pocos recursos y se veían obligados a usarlos con la mayor eficacia posible. El hijo del fundador de Toyota, Kiichiro Toyoda, percibe que la industria del automóvil está cambiando, y que los estadounidenses son mucho más eficaces que los japoneses. ¿Cómo competir a los norteamericanos con la escasez de recursos que tenían? En este caso, la escasez de recurso era el **cuello de botella**, ¿cómo solucionarlo?

Lean es “pobreza” o “escasez”, se basa en llevar a cabo cualquier proceso con el mínimo posible de actividades y recursos, a fin de no utilizar más que lo indispensable, por lo que es una técnica de fabricación que se centra en los servicios basados en la eliminación planificada de todos los residuos y la mejora continua de la productividad. Trata de utilizar la eficiencia para aumentar el valor para el cliente, se da gran prioridad a la satisfacción del cliente. Se puede aplicar a gran escala.

En un principio, la filosofía Lean se utilizaba principalmente en la industria (Lean Manufacturing), actualmente se aplica a todo tipo de organizaciones, por ello se le suele llamar Lean Management.

5. **Just in Time.** En la década de los 70, la economía japonesa ya estaba saneándose, la clave ahora no era solo el aprovechamiento de todos los recursos, si no la variedad de los productos ofrecidos. Tratando de fabricar eficientemente pocas cantidades de diferentes modelos de automóviles, surge la filosofía Just in Time, gracias a Taiichi Ohno, vicepresidente de Toyota. Esta filosofía trata de:
 - a. Minimización de stock. Este nuevo método no requiere grandes cantidades de almacenamiento, ni de materia prima, solo lo necesario. Todos estos elementos deben de llegar a su destino justo antes de ser empleados, sin que haga falta almacenarlos durante un periodo largo de tiempo y que crezca el inventario.
 - b. Producción bajo demanda. Solo se produce lo necesario, se busca aumentar la eficacia y reducir los costes a través de la reducción o eliminación de desperdicios.
 - c. Flexibilidad. Requiere de herramientas y trabajadores versátiles.
 - d. Calidad. Tolerancia cero con los errores de fabricación, alta calidad de los productos.

Las principales desventajas del JIT son el riesgo de retraso en la llegada de suministros y la pérdida en la compra de menores cantidades de recursos (debido a la variabilidad). [15]

Todos estos sistemas de producción han surgido por la necesidad del momento, adaptándose e innovando, cada uno de forma diferente dependiendo de la situación que se les presentaba. Realmente, para dar solución a estos problemas, lo que se ha estado haciendo es resolver las restricciones del sistema, es decir, los cuellos de botella. Por ejemplo, la lenta producción artesanal no podía cumplir con la demanda, la lenta producción era un claro **cuello de botella**, que se resolvió con la producción en masa. O la falta de recursos en Japón tras la segunda guerra mundial, que provocó el surgimiento de la filosofía Just in Time y del método Lean, esta escasez de recursos también era un **cuello de botella**. [13]

3 ANÁLISIS DE PROCESOS

“No es el más fuerte el que sobrevive, ni el más inteligente, sino el más adaptable al cambio”

- Charles Darwin -

3.1 Conceptos básicos

Un **proceso** es la secuencia de operaciones que hay que realizar para elaborar un producto o prestar un servicio. En cada proceso hay varias **operaciones**, que transforman el estado de la unidad procesada. Después de realizar las todas las operaciones del proceso, se obtendrá el producto o servicio terminado.

Cada unidad de proceso tiene un **tiempo de ciclo**, que no es más que la cadencia con la que se puede obtener una unidad del proceso atendiendo a cada recurso en particular, es decir, cada cuanto tiempo sale un producto determinado de un proceso o cuanto se tarda en realizar una actividad de un servicio (en caso de una empresa de servicios).

Cada proceso tiene una **capacidad máxima de producción o acción**, dependiendo de las restricciones que presente el sistema, esta suele ir relacionada con el tiempo de ciclo de su recurso crítico (**cuello de botella**). Este es el recurso que tiene el tiempo de ciclo más largo, lo que limita la capacidad de producción del proceso. Cada minuto, cada segundo que el cuello de botella esté sin funcionar y producir conllevará a la pérdida de dinero por parte de la empresa.

Podemos definir la **productividad** de un proceso como la relación entre el output y el input, es decir, entre la producción en unidades de producto en un intervalo de tiempo y el número de unidades de recurso consumido en dicho intervalo para lograr la producción.

Como la máxima producción es la capacidad del proceso y ésta viene determinada por el recurso crítico o cuello de botella, es de principal importancia la buena gestión del cuello de botella, evitando todo tipo de tiempo improductivo que se pueda dar por cualquier motivo (falta de material, mal aprovechamiento de personal, falta de personal, averías, productos defectuosos). De esta manera se aprovecharía al máximo la capacidad del cuello de botella y se lograría la mayor producción posible, maximizando el output del proceso.

Es fundamental tener las tareas bien repartidas entre los recursos del proceso, para maximizar su aprovechamiento y minimizar los tiempo de ciclo.

Uno de los puntos clave en las organizaciones actuales es la **flexibilidad**. Esta es la capacidad de una organización de responder y adaptarse al cambio, anticiparse a las amenazas y a las oportunidades futuras.

- Flexibilidad del producto: capacidad de una organización para producir una variedad de productos con un conjunto común de recursos y procesos.
- Flexibilidad del volumen: capacidad para ajustar el nivel de producción según las necesidades del mercado.

- Flexibilidad de los procesos de producción: capacidad para cambiar rápidamente entre diferentes productos o procesos sin incurrir en costos significativos. Tiempo que se tarda en preparar los recursos del proceso para hacer un nuevo producto, que depende del método empleado, de la formación del personal, del propio diseño y de la tecnología de las instalaciones. Por ejemplo, un proceso que requiera 20 minutos para cambiar de un producto a otro es mucho más flexible que uno que necesite 2 horas para realizarlo.

Para mejorar la flexibilidad, es importante que las organizaciones adopten prácticas como el diseño modular, el uso de tecnologías avanzadas, la capacitación y el desarrollo del personal (polivalencia), y la implementación de sistemas de gestión ágiles. Además, es importante que se establezcan buenas relaciones con sus proveedores y clientes para garantizar una cadena de suministro eficiente y flexible. [10]

3.2 ¿Por qué son importantes las operaciones en la estrategia de una empresa?

Antes de profundizar en el análisis de procesos, vamos a relacionar la forma de competir de una empresa con la organización de las operaciones de la propia empresa.

Existen tres aspectos principales a la hora de competir:

- Producto: Variedad, gama, calidad, innovación.
- Precio: Coste de adquisición para el cliente y el coste de su posterior mantenimiento.
- Servicio: Plazos de entrega, tipo de lotes, atención de reclamaciones, garantías.

En base a estos tres aspectos, se realiza una estrategia competitiva, pero de nada serviría si no se tiene capacidad suficiente para generar estas ventajas competitivas, y esto se consigue gracias a las operaciones, por ello debemos hacernos algunas preguntas: ¿mis operaciones son adecuadas para cumplir mi estrategia y lo que piden los clientes? ¿Tengo capacidad para atender a la demanda esperada? ¿Mis operaciones me van a permitir ganar dinero? ¿Podré cumplir con los plazos de entrega propuestos?

El análisis de procesos debe ayudar a diagnosticar si realmente las operaciones de una empresa están correctamente diseñadas y gestionadas para apoyar su estrategia competitiva. Sin estrategia competitiva es imposible establecer un rumbo en las operaciones de una planta, y sin las operaciones es imposible llevar a cabo una estrategia competitiva, ambas se complementan entre sí. [3]

4 PROCESOS DE PRODUCCIÓN

“No busques errores, busca un remedio”

- Henry Ford -

4.1 Tipos de procesos de producción

Existen diferentes maneras de organizar la producción, cada una con sus propias características y ventajas. A continuación, se describen los principales métodos productivos:

4.1.1 Según el comienzo de la producción, ¿antes o después de aceptar un pedido?

4.1.1.1 Producción bajo pedido

Se empieza a producir una vez recibido el pedido. Requiere de una gestión impecable para servir lo antes posible el pedido acorde a los tiempos de entrega del cliente, cumplir con la estimación de costes y administrar los recursos humanos. Puede servir de ayuda Softwares ERP, que conectan tu proceso de producción con la administración de la empresa, permite controlar en todo momento los costos y tiempos de producción.

Generalmente en el sector servicios es el tipo de procesos que se aplica, y que los servicios no se pueden almacenar. Sectores como la programación informática, reparaciones, o estética deben de realizarse obligatoriamente bajo pedido.

En caso de realizarse correctamente, proporciona una gran flexibilidad.

4.1.1.2 Producción contra Stock / Bajo demanda

Producir los artículos en función de la demanda esperada. En caso de productos estacionales puede ser un problema.

La producción contra stock es un sistema de producción en el que los productos se fabrican y almacenan antes de que se reciba un pedido. En este sistema, la empresa mantiene un inventario fijo de productos que se venderá posteriormente a los clientes. Es necesaria una alta previsión de la demanda.

Este método se podría utilizar en empresas que tienen demanda estable y predecible para sus productos.

Tiene una menor flexibilidad, aunque si se aplica correctamente y las previsiones son precisas, los pedidos pueden entregarse muy rápidamente.

4.1.2 Según el flujo utilizado para producir los productos

4.1.2.1 Producción en masa

Proceso altamente mecanizado y automatizado, que con tecnología moderna y un número adecuado de trabajadores, permite fabricar una gran cantidad de productos similares entre sí, reduciendo los costes y el tiempo de fabricación a mínimos.

Se utiliza en procesos estandarizados de grandes cantidades por un coste bajo.

4.1.2.2 Producción continua

Debido a la producción constante, se eliminan costos y el aprovechamiento de los recursos son mayores. Los niveles de inventarios suelen ser mínimos, ya que este tipo de producción se aplica cuando existe alta demanda.

Es una forma de organizar el flujo de materiales en la empresa que consiste en que dicho flujo sea constante sin pausa y sin que se produzca ningún tipo de transición entre unas operaciones y otras.

4.1.2.3 Producción por lotes

Es un sistema de producción en el que se elabora una cantidad acotada de productos que tienen características idénticas. Este sistema se utiliza cuando la demanda de un producto no es lo suficientemente grande como para manufacturarlo de forma continua y existe una gran variedad de productos. Es un sistema donde se fabrica una cantidad limitada de una mercancía, compartiendo unidades de cada lote con características similares, y siendo a su vez distintas a las de otros lotes.

La maquinaria ha de ser flexible, y los trabajadores polivalentes, de lo contrario el cambio de maquinaria, materia prima o cualquier elemento que interfiera en el proceso puede ralentizar el cambio de lotes, disminuyendo la productividad de la línea de producción.

Este método es adecuado para empresas que producen productos personalizados y que tienen una demanda variable. [1]

¿Importa el tamaño del lote en la capacidad del proceso?

Sí, de hecho, es una de las claves. Dependiendo del tipo y variedad de los productos, de la capacidad de almacenamiento, del coste unitario que se desee, del tiempo que se tarda en preparar un recurso nuevo para su procesado (tiempo de cambio) y del tipo de entrega y producción (bajo pedido, bajo stock, etc). Son muchos los factores que pueden influenciar en la decisión del tamaño del lote, que será fundamental para la optimización del proceso.

Variedad de productos: En caso de tener una amplia gama de productos, es mejor lotes pequeños, por el contrario, si se simplifica la “carta” y se reduce la variedad de éstos, podría ser mejor lotes grandes. Cuando se tiene una gran variedad de productos en venta, es probable que los pedidos sean dispersos, y al trabajar con lotes pequeños se pueden proporcionar rápidamente, sin embargo, si en una situación similar se trabaja con lotes grandes, se tardaría mucho en servir todos los pedidos y el inventario podría crecer drásticamente, ya que se venden menos productos de un tipo determinado del que se pueda producir en un solo lote.

Coste unitario del proceso: La producción a gran escala casi siempre será más barata y sencilla, el coste unitario con lotes grandes disminuye considerablemente. Esto ocurrirá siempre y cuando se tenga una producción y una estrategia adecuada al tamaño de lotes grandes, por el contrario, el coste podría incrementarse (aumento de inventarios, pérdida de ventas).

Tipo de entrega: En caso de trabajar bajo pedido, es esencial reducir y optimizar todos los tiempos de producción para servir los pedidos lo antes posible y así diferenciarse de la competencia. En caso de utilizar lotes pequeños, es clave la disminución de los tiempos de cambio entre un tipo de producto y otro para su fabricación,

en caso contrario puede llegar a ser un problema importante, bajando la productividad notablemente. Al trabajar con lotes grandes, este problema se reduce, por el contrario, si se trabaja bajo stock con una venta variada de productos, es muy complicado cumplir en el corto plazo con los pedidos utilizando lotes grandes.

Tiempo de cambio: Si nuestra cadena productiva permite un rápido tiempo de cambio entre un tipo de producto u otro, se puede aplicar fácilmente lotes pequeños y tener una gran gama de productos a la venta. En caso de que ocurra lo contrario y la cadena productiva sea más rígida, es decir, el tiempo de cambio sea grande entre un tipo de producto u otro, convendría utilizar lotes grandes y reducir la gama de productos.

En resumen, aumentar los tamaños de los lotes puede aumentar la capacidad productiva y disminuir el coste unitario del proceso, pero también puede elevar los niveles de inventario, aumentar el tiempo de flujo o reducir la flexibilidad de la planta. Ninguna de estas afirmaciones son verdades absolutas, como ya se ha comentado anteriormente, depende de un conjunto de factores, que, aplicados correctamente y enfocados a una estrategia competitiva y operacional, aumentarán la productividad de la organización. [5]

4.2 Tiempo de producción

Es el periodo que hay entre el momento en el que el pedido es registrado y el momento en el que el producto está terminado, listo para ser vendido. Dentro del ciclo de producción hay varias etapas, que al sumarlas dan el tiempo de producción.

4.2.1 Etapas:

- Tiempo de cola. Tiempo que pasa la materia prima en la cola antes de ser procesada por la máquina o la persona encargada.
- Tiempo de proceso: Tiempo en el que el material es transformado en otro nuevo, cuyo valor ha aumentado.
- Tiempo de preparación. Tiempo que requiere la configuración de las máquinas y el abastecimiento, es decir, es el tiempo que un material espera a que un determinado recurso esté preparado para procesarlo.
- Tiempo de espera. Cuando un producto requiere de enfriamiento, secado o cualquier otra etapa antes de poder ser manipulados o terminados, por ejemplo, si para ser ensamblado requiere de otros materiales que aún no están listos.

En los cuellos de botella predomina el tiempo de cola, mientras que en los no cuellos de botella predomina el de espera. [5]

4.2.2 Maneras de reducir el tiempo de producción

- **Mantenimiento preventivo y adecuado de la maquinaria.** Es fundamental que el equipo mecánico y eléctrico estén en buen estado para evitar averías, más aún si estas forman parte del cuello de botella. Cada segundo perdido es dinero perdido.
- **Acortar los tiempos de cola.** Este tipo de tiempo implica tener un pedido detenido y un mayor inventario entre un proceso y otro, esperando a que se libere el siguiente proceso. Mejorar la planificación estratégica de producción. [5]

5 CUELLOS DE BOTELLA

¿Cuál es la **meta** de una empresa? Se podría decir que aumentar la productividad, dar un excelente servicio, ser una empresa de valores, o incluso ser sostenibles con el medio ambiente, pero todos estos son realmente factores para alcanzar la verdadera meta de una empresa, **ganar dinero**.

Ahora llevemos esta definición a las líneas de producción, ¿qué impide que mi empresa gane dinero? La respuesta es el cuello de botella, ya que es el que marca el paso de la planta, cada segundo perdido en el cuello de botella es dinero perdido.

En una organización industrial se suele decir que el cuello de botella es una máquina o un conjunto de personas cuyo flujo de trabajo es inferior al del resto de la línea de producción, y casi siempre suele ser así, pero también existen otros tipos de cuellos de botella. [5]

5.1 Ejemplos de cuello de botella

- Si una planta es capaz de producir 100 piezas al día, pero nuestro departamento de ventas solo vende 70, el cuello de botella está en ventas, ya que venden menos de lo que se podría fabricar y por ello ganamos menos dinero.
- Similar al ejemplo anterior, tenemos una planta que fabrica 100 piezas al día y el departamento de compras es capaz de vender las 100 piezas, todo estaría perfecto, pero existe un problema constante de fallo de la maquinaria que hace que existan averías y no se pueda cumplir con la fabricación de 100 piezas diarias. En este caso el cuello de botella está en el departamento de mantenimiento, que por culpa de un mal mantenimiento se pierde dinero al no fabricar las piezas que se podrían vender.
- Ventas nos comunica que puede ascender las ventas a 200, pero con el método actual de producción solo optamos a las 100 piezas/día, sin embargo, hemos pensado otro método de producción con el que claramente llegaremos a esas 200 piezas, pero existe un problema, los trabajadores más veteranos se oponen al cambio de método. En este caso el cuello de botella son claramente estos trabajadores veteranos.

Se podría poner miles de ejemplos, de todo tipo de organizaciones, pero en este proyecto se estudiará más en profundidad los cuellos de botella en las organizaciones industriales, más concretamente en sus líneas de producción.

5.2 Motivos por los que se genera un cuello de botella

- Falta de materiales de entrada.
- Personal mal preparado.
- Falta de almacenamiento.
- Desinterés administrativo.

5.3 Tipos de Cuellos de Botella:

- Corto plazo: Son temporales, no son realmente un problema. Fácil solución. Por ejemplo, el que recibe las llamadas en una pizzería falta al trabajo una noche, esto provocará un embudo y hará que otro trabajador esté saturado y atienda menos pedidos.
- Largo plazo: Ocurren en todo momento de forma acumulativa, ralentizan el sistema.

5.4 Tipos de restricciones

- Físicas: Cuando se da en equipos o instalaciones (recursos humanos, espacio, tiempos), se mejoran sacando el máximo de su capacidad productiva, y en caso de que ya se esté haciendo, aumentando la capacidad.
- Políticas: Modos de actuar que limitan la producción. La única forma de superarla es reemplazarla.

Identificar y resolver los cuellos de botella es esencial para cualquier empresa, nos permitirá utilizar toda la capacidad de la planta, minimizar los inventarios, reducir los tiempos de entrega, mejorar la calidad y aumentar la eficiencia. [5]

6 METODOLOGÍAS

6.1 ¿Cuál es el método idóneo para optimizar un proceso productivo?

Existen decenas de metodologías para la mejora de procesos, pero nos centraremos en las tres con más relevancia en el mundo actual: **Six Sigma**, **Lean** y la **Teoría de las restricciones (TOC)**.

Aunque todas tienen como objetivo reducir los costes y mejorar la eficiencia de la organización, tienen enfoques muy distintos y no necesariamente excluyentes.

6.2 Lean

Es una filosofía de mejora continua, en la que se trata de hacer un conjunto de buenas prácticas de manufactura enfocadas en: Identificar, cuantificar y eliminar o disminuir drásticamente los desperdicios de los procesos de una organización en su cadena de valor, siendo adaptables, eficientes y flexibles. Lean se esfuerza por atender las necesidades del cliente, ya sea el consumidor final, el cliente de una tienda de alimentos o la próxima estación de trabajo en la planta de producción, dándole exactamente lo que quiere y necesita, cuando lo quiera y lo necesite, no dándole nada que no valore. Para ello, hay que deshacerse de lo no esencial o no crearlo. ¿Qué queda una vez te has despojado de lo no esencial? Lo esencial. El producto perfecto, servido en el momento perfecto y al precio perfecto.

6.2.1 Pilares del Lean

1. Identificar y eliminar los despilfarros.
2. Reducir el tiempo de respuesta ante la demanda del cliente.
3. Simplificar el diseño del proceso y del producto.
4. Mejorar la calidad y el servicio al cliente.
5. Reducir la gestión a todos los niveles.
6. Crear cultura. Aumentar la implicación de todo el personal, desde directivos hasta los mismos peones.

Estos pilares se aplican a toda la cadena, tratando de mantener un equilibrio en la planta. [10]

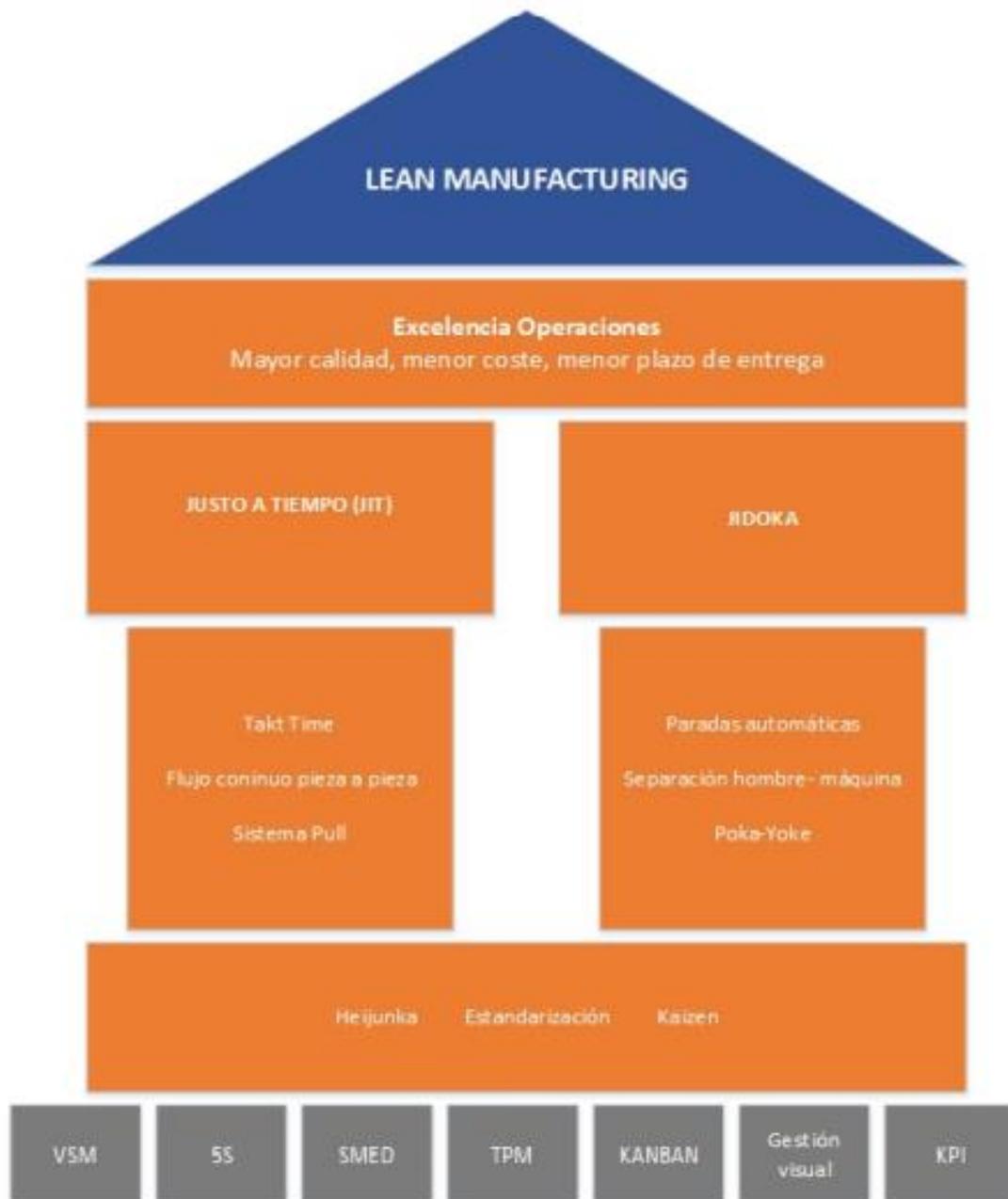


Ilustración 1. Lean Manufacturing y sus herramientas.

Fuente: EOI. 2011.

6.2.2 Tipos de despilfarros

Eliminar el máximo posible de despilfarros es una de las claves de la filosofía Lean.

1. **Sobreproducción.** Producción de componentes que no son necesarios para uso o venta inmediata. La sobreproducción genera un coste muy alto, ya que provoca stocks, interfiere en el flujo de materiales y degrada la calidad y la productividad.
2. **Transporte.** Movimientos de materiales mayores de lo que sería estrictamente necesario con una disposición de medios más eficientes. Además, de no añadir valor al producto, se puede dañar el producto y que la calidad de este se vea afectada.
3. **Inventario o Stocks.** También conocido como WIP, es el resultado directo de la sobreproducción y la espera. El exceso de inventario tiende a esconder los problemas de la planta, los cuales deben ser identificados y resueltos a fin de aumentar el desempeño operativo. El exceso de inventario aumenta

los tiempos de producción.

4. **Esperas.** Tiempos Muertos entre operaciones debidos a falta de material, línea desequilibrada, errores de programación, etc.
5. **Sobre proceso.** Se produce cuando se realizan esfuerzos que no agregan valor al producto o cuando se utilizan medios o equipos superiores (más caros) a los necesarios para la fabricación.
6. **Defectos y desechos.** Producción de artículos defectuosos. Incluye reprocesos y pérdidas de productividad asociadas a la interrupción de la continuidad de un proceso para tratar defectos y rectificar trabajos.
7. **Movimiento.** Cualquier movimiento que no sea necesario para realizar una operación eficiente. Es el despilfarro relacionado con aspectos ergonómicos. Incluye tanto los movimientos de desplazamientos como los micro movimientos, tales como estirarse o agacharse. [2]

6.2.3 Actividades para un correcto Lean

La implementación de principios lean en una organización puede beneficiarse del uso de diversas herramientas y técnicas específicas. Herramientas lean comunes utilizadas para identificar y eliminar desperdicios, mejorar la eficiencia y optimizar los procesos:

6.2.3.1 Mapa Flujo de Valor

Muestra los pasos de todos los procesos que se utilizan para producir en la planta. Descrito con un nivel de detalle, cada uno de los pasos, desde la entrada de las materias primas hasta la salida de los productos terminados.

Uso de pegatinas. Se pueden aplicar pegatinas de colores para diferenciar entre los pasos que añaden o no añaden valor. Por ejemplo, pegatinas azules para indicar pasos que añaden valor, amarillas para pasos en los que no se añade valor pero que son necesarios por la regulación o la política de la compañía, y pegatinas rojas que indiquen todas aquellas actividades que ni añaden valor ni son importantes (desperdicios). Por lo que cada pegatina roja es un proyecto potencial para el Lean, una oportunidad de eliminar desperdicios.

6.2.3.2 Sistema de prioridades

La **flexibilidad** es una de las claves del Lean. Es clave un adecuado entrenamiento del personal para llevar a cabo las tareas con la mayor versatilidad posible, con flexibilidad se pueden dirigir los recursos allí donde hacen falta, mejorando la productividad a nivel global.

La flexibilidad y la versatilidad sin control pueden derivar en un desastre para el proceso productivo, provocando grandes retrasos. Por ello es necesario establecer un sistema de prioridades, dándole mayor importancia a las tareas que así lo requieran. Los empleados primero deberán realizar las tareas específicas, posteriormente las comunes, y con el tiempo sobrante y si es posible, las de mantenimiento y administrativas.

Este sistema no quiere decir que cada trabajador esté haciendo 5 tareas a la vez, ya que esto perjudicaría gravemente a su productividad y rendimiento. Más bien trata de hacer de una en una, sacando el máximo provecho del tiempo empleado, simplemente teniendo en cuenta que tarea tiene mayor o menor prioridad, si está haciendo una de baja prioridad y de repente llega una tarea urgente, debe ponerse con la urgente y una vez finalizada volver con la de baja prioridad.

Cuando se le asigne una tarea a un empleado, este la acepta y la lleva a cabo. Además, lo intentará hacer lo más rápido posible, cumpliendo con los requisitos de seguridad y calidad, hasta que pase uno de estos acontecimientos:

- Ha finalizado la tarea, por lo que se lo pasará al que tenga que hacerse cargo de ella a continuación.

- Está bloqueado y tiene que parar porque tiene que esperar a que le llegue algo que necesite.
- Le asignan una tarea con mayor prioridad, por lo cual debe de ponerse con ella inmediatamente y una vez finalizada sigue con la tarea anterior.

Esto no se aplica al recurso cuello de botella, ya que él es la prioridad y debe de estar en continuo funcionamiento, de manera que siempre tenga lo que necesite. Lo ideal sería realizar la priorización en la fase de planificación y programación. Consiguiendo un flujo fluido de actividades, sin interrupciones, teniendo en cuenta el momento en el que pueda llegar una tarea de máxima prioridad.

Por ejemplo, una persona que esté preparando el desayuno (una manzana y una tostada), lo primero que hará es poner el pan en la tostadora, ya que mientras este se calienta, puede ir cortando la manzana, pero si la tostadora sobrepasa el minuto que el pan tiene que estar y se quema, se quedará sin desayuno. Por lo que cuando pase el tiempo determinado para que se tueste el pan, aunque esté cortando la manzana (tarea de baja prioridad), deberá de quitar el pan (tarea de máxima urgencia), posteriormente podrá volver a cortar la manzana, aprovechando al máximo el tiempo para preparar el desayuno y evitando cualquier error.

El sistema de prioridades se puede aplicar al método Kanban, usando diferentes colores para las tareas según su urgencia, de manera que todo el equipo lo tenga en cuenta y pueda tener ordenada su planificación. [10]

6.2.3.3 Gestion Visual

La gestión visual emerge como una herramienta de diseño estimulante, facilitando la implementación de estrategias y políticas mediante métodos de comunicación visual de fácil comprensión. Una gestión eficaz se orienta hacia la mejora de los procesos productivos, la reducción de tiempos de espera, la disminución de costos y la elevación de la calidad del producto.

Esta práctica puede ser incorporada en cualquier empresa, siendo utilizada para potenciar la comunicación entre distintos departamentos y áreas. Su objetivo abarca la reducción de pérdidas de tiempo, la respuesta ágil ante problemas, la medición de avances y mejoras, la detección de fallos, la prevención de posibles accidentes, el análisis de resultados y el aseguramiento del cumplimiento de políticas.

Diversos métodos y herramientas pueden ser empleados para implementar la gestión visual, como señales de tráfico, líneas en el suelo, indicadores de trabajo y evaluaciones de desempeño.

6.2.3.4 Kanban

Se usa en la filosofía Lean para visualizar el flujo de trabajo y la limitación de trabajo en progreso para mejorar la eficiencia y la calidad de trabajo. En un tablero Kanban, el trabajo se muestra en un proyecto en forma de tablero organizado por columnas. Tradicionalmente, cada columna representa una etapa del trabajo. El tablero Kanban más básico puede presentar columnas como Trabajo pendiente, en progreso, en revisión y terminado. Las tareas individuales —representadas por tarjetas visuales en el tablero— avanzan a través de las diferentes columnas hasta que estén finalizadas

Kanban es una forma de ayudar a los equipos a **encontrar un equilibrio entre el trabajo que necesitan hacer y la disponibilidad de cada miembro del equipo**. La metodología Kanban se implementa por medio de tableros Kanban. Se trata de un método visual de gestión de proyectos que permite a los equipos visualizar sus flujos de trabajo y la carga de trabajo. [12]

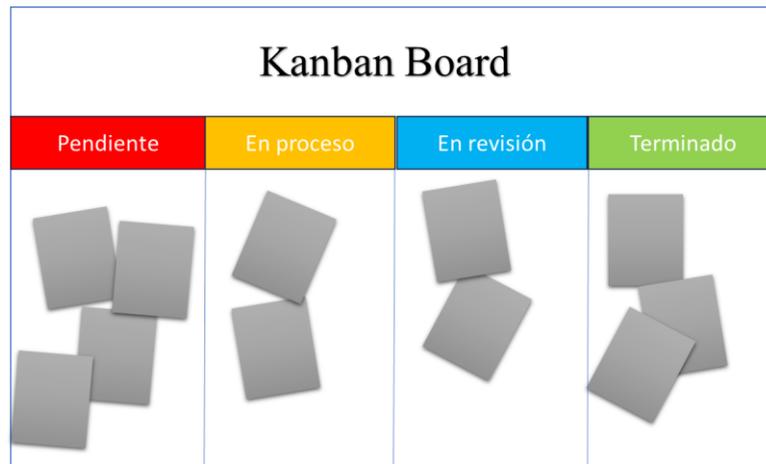


Ilustración 2. Ejemplo de pizarra Kanban

Fuente: Elaboración propia.

6.2.3.5 Pick chart

Es una herramienta de gestión que ayuda a priorizar y organizar las tareas de un equipo. Al usar esta herramienta, los equipos pueden agilizar y centrarse en las tareas de mayor importancia, evitando malgastar su tiempo y recurso. Puede ayudar en el proceso Kanban. [6]

Se representa a través de una matriz con cuatro cuadrantes, cada uno de los cuales representa un tipo diferente de tarea:

Tabla 1. Pick chart

Gráfico de pick	Beneficio muy importante	Beneficio menor
Fácil/rápido	1	2
Difícil/lento	3	4

Fuente: Elaboración propia.

1. Tareas que tendría un beneficio muy importante, y que se pueden hacer rápidamente de una manera sencilla.
2. Tareas que son importantes, pero no urgentes, y que de igual manera se tardará poco en su realización. Deben mantenerse en espera hasta acabar con las del punto 1.
3. Son las tareas desafiantes, muy importantes pero difíciles y lentas de hacer. Deben de ser abordadas con cuidado y planificación.
4. Tareas que no aportan valor, innecesarias y lentas. Deben de ser eliminadas o reducidas.

6.2.3.6 Poka-Yoke

Técnica de calidad que se aplica con el fin de evitar errores en las operaciones de un sistema. El término proviene del japonés y significa “a prueba de errores”. [10]

Esta técnica se utiliza para diseñar procesos o productos de manera que se eviten errores, que se detecten tan

pronto como sea posible, minimizando su impacto. Además, agilizará los procesos y facilitará el trabajo de los empleados.

Un ejemplo sencillo y fácil de entender es el de los conectores USB, que tienen marcado el lado por el que deben introducirse en un apartado, evitando errores, para facilitar y reducir el tiempo que se tarda en conectarlos.

6.2.3.7 Indicadores claves de rendimiento (KPI)

En cualquier proyecto es necesario y obligado establecer indicadores que permitan a los gestores del mismo determinar cuál es el estado y evolución del mismo, son elementos de control que se utilizan para cuantificar los resultados de una determinada acción, actividad o estrategia en función de unos objetivos predeterminados; es decir, indicadores que permiten medir la evolución de las acciones implicadas en el proyecto.

Para cada proyecto se han de definir sus propios KPI; adecuados a las características de este, pero siempre constatando que se usan KPI con los siguientes **criterios**:

- Deben verificar aspectos cuantificables (medibles).
- Ha de referirse a aspectos relevantes.
- Fijarse objetivos alcanzables.
- Establecidos para periodos de tiempo manejables.

Para la realización de KPI hay que analizar: ¿Qué se mide? ¿Por qué se mide? ¿Sirve para hacer el seguimiento de los resultados de uno de nuestros objetivos? ¿Es un factor clave para la empresa? ¿Quién es el responsable de supervisarlos? ¿Con qué periodicidad conviene supervisarlos?

Tipos de KPI:

- KPI retrospectivos: Aportan visibilidad respecto a lo que ya se ha hecho (costes incurridos, cantidad facturada, avance del proyecto, horas empleadas, etc.).
- KPI de diagnóstico: Permiten comparar la situación real con la planificada y detectar variaciones (variación de costes, atrasos en el cronograma, porcentaje de ejecución, consumo de márgenes).
- KPI predictivos: Permiten estimar la situación final del proyecto a partir de la situación actual e histórica (coste estimado a la finalización y fecha fin proyecto).

Es importante el uso de KPI para “no perderse en un bosque de datos”, para tener la evolución del proceso fácilmente controlada. Gracias a ellos se pueden adoptar acciones correctivas, preventivas, actualizar planes erróneos, etc. [9]

Algunos ejemplos son: plazos, costes, calidad del producto, calidad del servicio (plazos de entrega) o logística.

6.2.3.8 Heijunka

Consiste en nivelar la producción o el flujo de trabajo para lograr una programación más suave y constante. La palabra "Heijunka" en japonés significa "nivelación" o "regularización". El objetivo principal de aplicar heijunka es reducir las fluctuaciones en la producción, minimizar los picos y valles en la demanda de productos y mejorar la eficiencia operativa.

Heijunka es otro concepto importante en Lean y en el Sistema de Producción Toyota (TPS). Se refiere a nivelar la producción o el flujo de trabajo para lograr una programación más suave y constante. La palabra "heijunka" en japonés significa "nivelación" o "regularización". El objetivo principal de aplicar heijunka es reducir las fluctuaciones en la producción, minimizar los picos y valles en la demanda de productos y mejorar la eficiencia operativa.

El proceso de heijunka implica **distribuir de manera más uniforme la carga de trabajo y la producción** a lo largo del tiempo, en lugar de producir grandes lotes de un solo producto en un período y luego cambiar a otro

producto.

Al **nivelar la producción**, se busca evitar la variabilidad en la demanda y la sobrecarga de ciertos recursos, lo que puede conducir a un uso más eficiente de la capacidad y a una respuesta más ágil a los cambios en la demanda del mercado.

Heijunka se implementa a través de varias prácticas, como el uso de sistemas de producción mixtos (mixed-model production) que permiten la fabricación de múltiples productos en la misma línea de producción, y mediante el uso de sistemas de señalización visual para indicar cuándo y qué cantidad de productos deben producirse.

En resumen, es una estrategia que busca nivelar la producción para mejorar la eficiencia y la capacidad de respuesta a la demanda, reduciendo así los desperdicios y mejorando la flexibilidad en los procesos de fabricación. [14]

6.2.3.9 Jidoka

La idea central de Jidoka es diseñar procesos de manera que la **automatización** pueda detectar y detener condiciones anormales. El objetivo es prevenir defectos o errores para que no se transmitan a lo largo de la línea de producción o lleguen a manos del cliente. En el contexto de la fabricación, Jidoka implica **incorporar calidad** en el proceso de producción mediante la integración de elementos automáticos y humanos. Cuando se detecta una anomalía o defecto, el sistema se detiene y el operador aborda el problema antes de reiniciar el proceso. Este enfoque ayuda a garantizar que los problemas se identifiquen y solucionen en la fuente, evitando la producción de productos defectuosos.

6.2.3.10 Just-In-time

Consiste en producir los productos o componentes necesarios en la cantidad exacta, en el momento exacto y en el lugar exacto, eliminando así el desperdicio y mejorando la eficiencia.

Las principales características del Just In Time incluyen:

- **Producción sincronizada:** La producción se programa de manera que los productos se fabriquen en el momento preciso en que se necesitan. Esto evita la acumulación de inventarios innecesarios y reduce los costos asociados con el almacenamiento de grandes cantidades de productos terminados.
- **Entrega a tiempo:** Se busca recibir los materiales y componentes justo a tiempo para su uso en la producción, evitando la necesidad de grandes almacenes de inventario. Esto reduce los costos de almacenamiento y minimiza la obsolescencia de los productos.
- **Eliminación de desperdicios:** El JIT se enfoca en la eliminación de cualquier actividad o recurso que no agregue valor al producto final. Esto incluye la reducción de inventarios excesivos, tiempos de espera y movimientos innecesarios.
- **Mejora continua:** El Just In Time fomenta la mejora continua en todos los aspectos del proceso de producción. Esto implica buscar constantemente formas de reducir el tiempo de ciclo, mejorar la calidad y aumentar la eficiencia.
- **Flexibilidad y capacidad de respuesta:** El JIT permite a las empresas adaptarse rápidamente a cambios en la demanda del mercado y a variaciones en la producción. Al mantener inventarios bajos y procesos eficientes, las empresas pueden ajustar más fácilmente su producción según sea necesario.

6.2.3.11 Estructura en celdas de trabajo

Una celda de trabajo es un grupo de recursos dispuestos estratégicamente para lograr un propósito específico dentro de la operación. La idea es estructurar el uso de estos recursos de una manera que minimice el tiempo de

espera entre los pasos esenciales, optimice la eficiencia de cada fase por separado y elimine la mayor cantidad de desperdicio de materias primas posible.

Logra que se pueda realizar varias tareas en un mismo lugar, sin necesidad de mover físicamente material de un departamento a otro. Es un paso clave para el objetivo de Lean de flujo de producción continua, en el que habría un movimiento y un procesamiento de material prácticamente continuado, sin apenas tiempo de espera o inactividad. Y el ratio de procesamiento y movimiento se ajustaría a la perfección al tiempo Talk. [15]

6.3 Six Sigma

Se trata de una metodología centrada en la disminución de la variabilidad en los procesos, fortaleciendo y optimizando cada etapa para reducir o eliminar defectos o fallos en la entrega de productos o servicios al cliente. Haciendo uso de herramientas estadísticas para la caracterización y análisis de los procesos, la metodología Six Sigma toma su nombre de la desviación típica, sigma, que proporciona una medida de la variabilidad en un proceso. El objetivo fundamental de Six Sigma es reducir esta variabilidad de manera que el proceso siempre se mantenga dentro de los límites establecidos por los requisitos del cliente. Es importante señalar que cuando un proceso opera dentro de los 6 sigma ($\sigma = 6$), esto indica que la variación o dispersión de los resultados es mínima, lo que implica que el proceso es prácticamente perfecto desde un punto de vista estadístico.

El término "Sigma" se refiere a la desviación estándar en estadísticas. Six Sigma apunta a lograr procesos que operen con menos de 3.4 defectos por millón de oportunidades, lo que equivale a un nivel de calidad extremadamente alto.

6.3.1 Niveles según el rendimiento:

Tabla 2. Niveles Six Sigma

NIVEL EN SIGMA	DPMO	RENDIMIENTO
6	3.40	99.9997 %
5	233.00	99.98 %
4	6.210,00	99.3 %
3	66.807,00	93.3 %
2	308.537,00	69.15 %
1	690.000,00	30.85 %
0	933.200,00	6.68 %

Fuente: Advanced Innovation Group Pro Excellence. 2023.

6.3.2 Metodología DMAIC

Es una metodología que se utiliza para mejorar la calidad y la eficiencia de los procesos de producción industrial. Significa Definir, Medir, Analizar, Mejorar (Improve) y Controlar.

El proceso DMAIC se divide en **cinco fases**, cada una de las cuales se enfoca en un aspecto específico del proceso de mejora:

1. **Definir:** En esta fase, se define el problema o la oportunidad de mejora y se establecen los objetivos del proyecto. Se identifican los clientes y sus necesidades.
2. **Medir:** Se recopilan datos sobre el proceso actual y se establecen las métricas de rendimiento.
3. **Analizar:** Se analizan los datos recopilados en la fase anterior para identificar las causas raíz de los problemas.
4. **Mejorar:** Se implementan las soluciones identificadas en la fase anterior y se hace un seguimiento del proceso para asegurarse de que se están logrando los objetivos del proyecto.
5. **Controlar:** Se establecen los controles necesarios para mantener el proceso en su nuevo estado mejorado. También se establecen los planes de seguimiento para asegurarse de que el proceso siga funcionando correctamente.

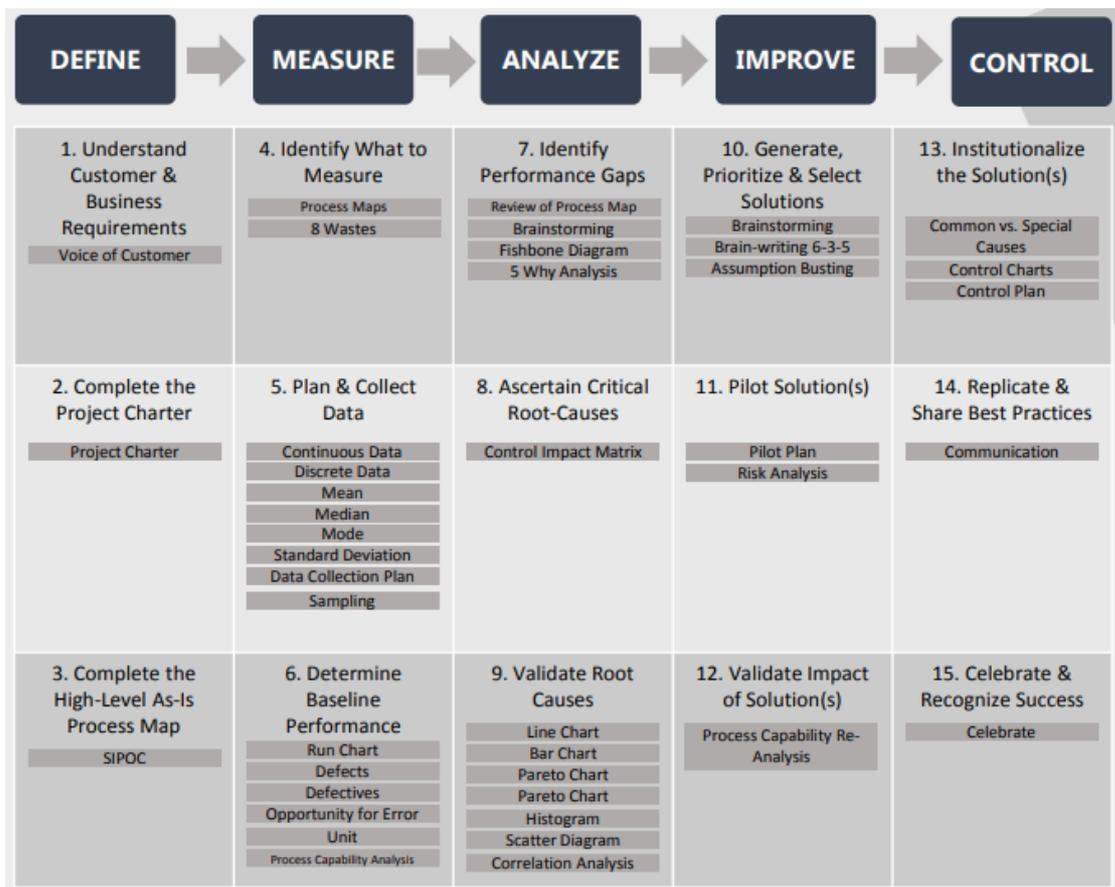


Ilustración 3. Metodología DMAIC detallada

Fuente: Advanced Innovation Group Pro Excellence. 2023.

En esta ilustración se muestra con detalle el procedimiento que se ha de llevar, junto a las herramientas que se pueden usar en cada uno de los pasos. Es un proceso complejo, con el que hay que tener paciencia, pero que con seguridad dará resultados. [11]

6.4 Lean Six Sigma (LSS)

Es una metodología de gestión que combina dos enfoques de mejora continua: Lean y Six Sigma. Ambos enfoques tienen raíces en la optimización de procesos, pero se centran en aspectos ligeramente diferentes. La combinación de Lean y Six Sigma busca aprovechar las fortalezas de ambos para lograr mejoras significativas

en eficiencia y calidad en los procesos empresariales.

Si bien Six Sigma puede ser excluyente del Lean, esta suele aplicarse dentro del mismo, tomando el nombre de Lean Six Sigma. Lean trata de crear valor para los consumidores a través de los productos y servicios, con el mínimo desperdicio, a una velocidad óptima y en perfecto equilibrio con la demanda del mercado. Mientras que Six Sigma trata de identificar y eliminar desperdicios, fallos, y cualquier cosa cuantificable que sea superflua para los consumidores. La clave está en que Lean reduce el desperdicio a través de las operaciones, Six Sigma las reduce disminuyendo la variación y mejorando la calidad. Ambas se complementan muy bien y da como resultado una reducción increíble de los desperdicios.

Este sistema trata de **equilibrar la línea**, que todo funcione perfecto: los materiales llegarán puntualmente y terminarán cada proceso justo cuando el siguiente está listo para recibirlos. Los tiempos de espera, gastos, desperdicios... todo se reducirá y minimizará. Todo estará nivelado, en toda la planta.

A continuación, se va a resumir y aclarar todo lo expuesto anteriormente sobre las metodologías Lean y Six Sigma, para poder observar realmente las diferencias entre ellas y en que pueden beneficiarse.

6.4.1 Lean

- **Principios Fundamentales:** Lean se basa en la eliminación de desperdicios (cualquier cosa que no agregue valor al cliente) y en la creación de flujos de trabajo eficientes y continuos.
- **Objetivos Clave:** Reducción de tiempos de ciclo, mejora de la eficiencia operativa, eliminación de actividades innecesarias, y respuesta más rápida a las demandas del cliente.
- **Herramientas Características:** 5S (clasificación, orden, limpieza, normalización, disciplina), Kanban, Mapas de Flujo de Valor, y la búsqueda de Mejora Continua (Kaizen).

6.4.2 Six Sigma

- **Principios Fundamentales:** Six Sigma se centra en la mejora de la calidad y la reducción de la variabilidad en los procesos.
- **Objetivos Clave:** Reducción de defectos, mejora de la consistencia en la entrega del producto o servicio, y aumento de la satisfacción del cliente.
- **Herramientas Características:** Ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar), Análisis Estadístico, Mapas de Proceso, y enfoque en Datos y Mediciones.

Al integrar las fortalezas de ambos enfoques, las organizaciones pueden abordar tanto la eficiencia operativa como la calidad del producto o servicio. La metodología busca identificar y eliminar los desperdicios y defectos, al tiempo que mejora la consistencia y la velocidad en la entrega de valor al cliente.

La aplicación exitosa de Lean Six Sigma implica la capacitación y participación de equipos interdisciplinarios, la aplicación de herramientas específicas en contextos adecuados, y un compromiso organizativo con la mejora continua. [4]

6.5 Teoría de las restricciones (TOC)

Esta filosofía se centra en identificar y eliminar las restricciones que limitan el rendimiento del sistema productivo para aumentar la rentabilidad, es decir, trata de poner solución a lo que haga que la empresa no gane dinero. Todos los recursos pueden ser limitaciones dentro del sistema, pero hay una, o al menos debería haberla, que actúa como **limitación primaria o Cuello de Botella**.

Para poder tratar este tema con profundidad, es importante conocer los siguientes **conceptos**:

- **Tiempo de ciclo:** Es el tiempo total que se tarda en completar un producto o servicio desde el inicio hasta la entrega al cliente. Reducirlo es una de las claves de esta filosofía.
- La principal diferencia respecto a la filosofía Lean es que centra los recursos en detectar aquellos que sean prioritarios. Se centra en el rendimiento total de la planta, no en la productividad.
- Esta teoría trata de **equilibrar el flujo**, no la capacidad, y por ello se necesita una limitación primaria.
- Un cuello de botella es fundamental para el funcionamiento de la botella, por ese motivo está ahí. Su objetivo es regular el flujo. Una limitación es deseable, incluso necesaria para regular el flujo.
- Un cuello de botella es un recurso que no puede satisfacer la demanda que existe en el momento, por ello es recomendable tomar medidas para que pase a ser una limitación primaria, o lo que es lo mismo, el recurso con más probabilidad de convertirse en un cuello de botella si no se gestiona correctamente, pero que es capaz de cumplir con la demanda.
- Para ganar más dinero se debería de aumentar el rendimiento, y para aumentar el rendimiento, hay que saber manejar las limitaciones.

Existen **dos fenómenos** presentes en toda proceso, **que influyen en las organizaciones:**

- **Sucesos dependientes:** El concepto de sucesos dependientes se refiere a cómo las acciones y decisiones tomadas en un área específica de un sistema pueden afectar o depender de otras áreas del sistema. La TOC sugiere que un sistema operativo es tan fuerte como su restricción más débil y que la optimización local (mejora de una parte del sistema) puede no ser efectiva si no se tiene en cuenta el impacto en todo el sistema.
- **Fluctuaciones estadísticas:** Información que no puede ser definida de forma precisa. En la TOC se reconoce que este suceso es una realidad, los procesos productivos y las operaciones están sujetos a variaciones naturales o estadísticas. Esto puede incluir variaciones en tiempos de producción, tasas de rendimiento y tiempos de entrega. Por ejemplo, si tenemos un restaurante podemos contar con precisión el número de plazas que se tiene, pero no cuánto tardará el cocinero en hacer la tortilla, cuantos huevos se consumirán hoy, cuanto tarda el camarero en traer la cuenta, etc...

La mayoría de los factores que influyen en el éxito de una fábrica no pueden ser previsto de antemano con precisión.

Se puede aplicar una serie de medidas para aumentar la capacidad del cuello de botella:

- ✓ **Desviar carga de trabajo del cuello de botella.**
 - Dedicar más recursos. Si es una planta de producción comprar una máquina similar, y si es una empresa de servicios, prestar apoyo adicional al encargado de la tarea.
 - Externalizar producción o servicios. En caso de que una nueva máquina sea demasiado costosa, externalizar la producción faltante. En caso de una empresa de servicios, contratar consultores o cualquier ayudante.
- ✓ Siempre ha de tener materia que procesar o trabajo que realizar. **Siempre** debe de estar **ocupado**. Un minuto perdido en un cuello de botella = dinero perdido. Buscar un sistema para que por los cuellos de botella pase material constantemente que contribuya a aumentar los ingresos. Aplicar LSS sería una buena manera de aumentar su rendimiento, con herramientas como Kanban que lo prioricen.
- ✓ Para evitar crear exceso de inventario, no es necesario que las máquinas que no sean cuellos de botella estén trabajando constantemente sin descanso. Solemos creer que mientras más tiempo estén trabajando los trabajadores, mayor será el rendimiento, pero esto no es así. **Una máquina no cuello de botella funcionando al 100%** de productividad lo único que hará será incrementar el inventario.

TOC defiende que hay **tres parámetros** fundamentales **para comprobar el correcto funcionamiento** de una organización:

- **Gastos de explotación:** Dinero que se gasta en nóminas, costes de mantenimiento, etc.
- **Inventario:** Incluye todas las materias primas y la producción en curso, es decir, todo el dinero que se tiene intención de transformar en rendimiento.
- **Inversión:** Capital, dinero para comprar equipos y otros activos que permitan transformar el inventario en rendimiento.

A largo plazo, el rendimiento tiene que aumentar, es decir, tiene que haber un aumento en la tasa a la que el inventario se transforma en ventas completadas. Además, la cantidad de inventario necesaria en la planta tiene que ser la justa para dar servicio a la limitación primaria. Al mismo tiempo, los costos operativos deben disminuir progresivamente en relación con los ingresos generados por la producción. Por último, no tiene que aumentar el nivel de la inversión requerida en máquinas y demás. En definitiva, siempre hay que intentar hacer más con menos.

Ejemplo: En una máquina, su amortización es gasto de operación, mientras que la parte de inversión que todavía queda en la máquina y puede ser recuperada en caso de ser vendida, es inventario. Sin embargo, el lubricante de las máquinas, por ejemplo, es gasto de operación, ya que va a ser usado para producir.

En definitiva, la suma de estos tres gastos ha de ser menor que el valor del producto fabricado.

TOC se rige por un **Proceso de mejora continua**, que cuenta con **cinco fases**:

1. Identificar las restricciones del sistema. Identificar cuáles son los cuellos de botella.
2. Decidir cómo explotar las restricciones del sistema. Hacer más eficiente el cuello de botella, aumentar su productividad.
3. Subordinar todo lo demás al paso anterior. Poner todo apunto para que el cuello de botella nunca esté parado.
4. Elevar las restricciones del sistema. Aumentar su capacidad.
5. Volver al paso 1. Al mejorar el cuello de botella, puede llegar a dejar de serlo, por lo que aparecerán nuevos cuellos de botella, lo que nos lleva al paso uno para identificar al nuevo cuello de botella.

Esta metodología no solo se centra en producción, también se aplica a empresas de servicios e incluso a la Gestión de Proyectos. Cada proyecto presenta una limitación central, fundamentada en la noción del eslabón más frágil de una cadena crítica. Abordar esta restricción principal o el eslabón más débil tiene el potencial de mejorar la fluidez del proceso del proyecto. [5]

6.6 LSS vs TOC

6.6.1 Puntos en común

- Flujo continuo de materiales a lo largo de la cadena productiva. Transferencia de lotes lo más pequeños posibles.
- Búsqueda de una mayor flexibilidad.
- Mejorar la calidad del producto.
- Mejora continua en la organización.

6.6.2 Principales diferencias

- LSS busca una línea equilibrada, TOC una desequilibrada. El lean busca incansablemente la perfección, TOC acepta la realidad de la eterna imperfección.

- El objetivo de LSS es reducir la capacidad de la línea a la demanda del cliente, y luego explotar esa capacidad al 100%. TOC acepta la capacidad adicional, de hecho, la considera muy necesaria, solo se adapta a la demanda el cuello de botella. Al tener una línea equilibrada, en cualquier momento por cualquier variación, podría surgir un cuello de botella en cualquier punto de la línea, en cualquier recurso del sistema. En cambio, cuando un sistema tiene una limitación primaria o Cuello de Botella, ya sabes dónde está la restricción principal.

6.6.2.1 Variación y sobrecapacidad

LSS cree que la ayuda del Six Sigma puede acabar con la variación, TOC cree que siempre habrá variabilidad. Con Six sigma puede reducirse la variación, pero nunca desaparecerá. La **variación es una realidad**, de una forma u otra, de una medida u otra, siempre habrá variación.

- Siempre habrá alguna variación, ya que estas depende de muchos factores, por mucho que con el LSS puedan disminuir, es imposible encontrar la manera de mantener una línea equilibrada al 100% sin ningún tipo de fallo y variación. Con TOC se esta variación no se trata de eliminar por completo, se gestiona y se convive con ella.
- De la misma manera, la demanda nunca tendrá un valor constante, la demanda oscila continuamente, y la capacidad tiene que ser suficiente para **acomodar** estas variaciones, de lo contrario se producirán pérdidas de tiempo y dinero.
- Algo que suele ocurrir en metodologías como LSS, es que pueden llegar a convertirse en un fin, en lugar de un medio para alcanzar el fin de toda empresa (ganar dinero). La gente tiende a obsesionarse con la búsqueda de la perfección de su aplicación, cuando la realidad es imperfecta, perdiendo de vista el objetivo por el cual supuestamente se ha aplicado.

Si se elimina el exceso de capacidad, en un futuro habrá problemas para acomodar las fluctuaciones de la carga de trabajo. Se puede andar y tener un ritmo constante, pero no se puede correr, si andando se tropieza con algo, no se podrá coger el ritmo anterior y nos quedaríamos atrás. Si algo se retrasa, permanece retrasado. Si solo se tiene capacidad suficiente para satisfacer la demanda, cada vez que un evento imprevisto provocará un retraso, no se podrá recuperar el tiempo perdido. Y por culpa de estos retrasos se forman cuellos de botella temporales caudados por la incapacidad para ajustarse al tiempo de ciclo talk.

Con una línea de producción equilibrada, una planta solo tiene la capacidad estrictamente necesaria la planta solo cuenta con la capacidad estrictamente necesaria. Cualquier fallo o variación podría desencadenar una situación similar a la de un tren descarrilado.

Por lo tanto, pequeñas variaciones provocan cuellos de botella temporales en el flujo de todo el sistema.

- Por lo tanto, normalmente el cuello de botella es menos productivo que antes.
- Por lo tanto, la empresa tiende a incumplir las fechas de envío previstas.
- Por lo tanto, si se quiere mantener el nivel de satisfacción del cliente, se utilizan servicios de mensajería urgentes y caros. Incluso así será complicado cumplir con los pedidos.
- Por lo tanto, los clientes seguirán estando insatisfechos y el equipo de ventas desmoralizado.
- Por lo tanto, las ventas caerán.
- Por lo tanto, la empresa perderá dinero.

Esto se verá con mayor claridad con un árbol de causas.

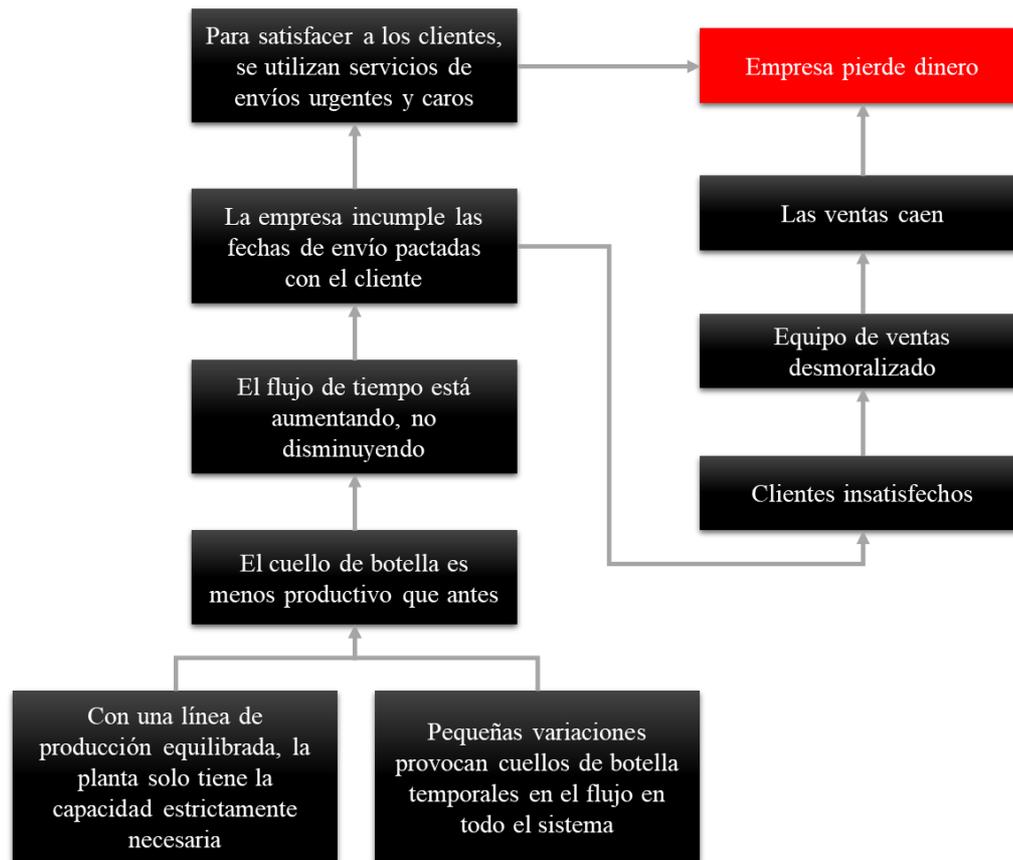


Ilustración 4. Árbol de causas

Fuente: Elaboración propia a partir de un ejemplo sacado del libro Velocity, de Dee Jacob.

Tanto Lean como Six Sigma tratan de conseguir rapidez, eliminando el desperdicio y reduciendo la variación para que el flujo se mueva más deprisa y cueste menos. Y la teoría de las limitaciones indica dónde hay que concentrar las mejoras para que tengan un impacto real. Creando entre todas, un sistema efectivo, flexible y real. Ambas filosofías son herramientas de gran valor, con grandes virtudes. Aplicar LLS en el contexto de esta tercera disciplina, llamada TOC. En lugar de intentar mejorarlo todo y eliminar los desperdicios de todas partes, vamos a aplicar LLS de forma que aumenten el rendimiento de toda la compañía y que generen los beneficios financieros. El papel de todos es que el cuello de botella o restricción primaria siempre tenga lo que necesite, antes de que lo necesite, y que procese lo que tenga que procesar lo más rápidamente posible. [8]

7 CASOS PRÁCTICOS

7.1 Excursión de Beltrán

Para pasar de la teoría a la práctica, primero se va a explicar la importancia de saber manejar un cuello de botella en un caso muy sencillo de la vida real.

El sábado pasado fue el cumpleaños de mi hermano pequeño, Beltrán, cumplió 15 años y quería celebrarlo haciendo una ruta de senderismo con algunos amigos suyos. Mis padres me propusieron, o más bien, obligaron, que hiciese de guía en la excursión, ya que es una ruta que yo había realizado varias veces y los niños son aún muy chicos para hacerla solos. Habíamos quedado en salir a las 19:00 desde el punto de partida, teniendo en cuenta que a las 21:00 oscurece y que el recorrido se puede hacer en una hora y media, nos daría tiempo de sobra para llegar al punto donde formaríamos las tiendas de campaña y dormiríamos.

Asistieron 12 niños, todos de estatura media, menos su mejor amigo, Fran, que era grande y corpulento.

Al principio todo iba bien, llevábamos media hora y teníamos buen ritmo, les dije que fuesen todos en fila india para tenerlos controlados, ya no es fácil manejar una excursión de 12 niños de 15 años. Pasada la media hora la fila empezó a descomponerse, Fran iba en medio y ralentizaba un poco a los que le seguían, les dije que se juntasen y continuasen el camino. Solo pasaron 5 minutos hasta que volvió a abrirse una brecha, les dije a los de adelante que ralentizasen el ritmo y se agrupasen. Pasada la hora aún no llevábamos ni la mitad del recorrido, el ritmo había bajado mucho e iba a oscurecer antes de llegar, y puede ser peligroso. Me pregunté: “¿Qué puedo hacer?”.

Tenía tres opciones: Seguir igual y arriesgarme a que sea de noche, pero mantengo el grupo medio unido; ponerlo al final y que solo él llegase de noche, perdería el control del resto del grupo; o ponerlo al principio.

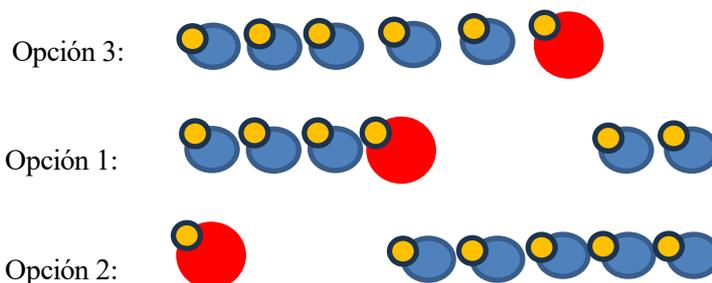


Ilustración 5. Representación inicial excursión Beltrán

Fuente: Elaboración propia.

Decidí ponerlo al principio y repartir la carga de su mochila pesada de excursión entre el resto de los niños, de

esta manera conseguí acelerar el ritmo y mantener la fila ordenada, ya que al ser el niño más lento tenía que ser el que marcara el ritmo de la excursión.

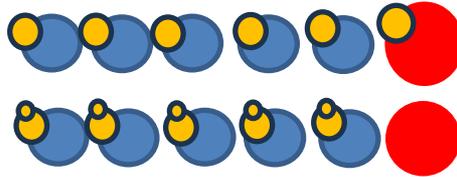


Ilustración 6. Representación final excursión
Beltrán

Fuente: Elaboración propia.

En un ejemplo tan sencillo como este, se pueden encontrar varias similitudes con una línea de producción.

¿Por qué poner a Fran el primero? Claramente Fran era el cuello de botella, en caso de ponerlo último podría haber provocado que los otros niños acelerasen, pero no hubiese cumplido ninguno de mis objetivos, ni hubiesen llegado todos antes de anochecer ni los hubiese conseguido tener agrupados. Algo similar pasa en una planta cuando el cuello de botella no es el que marca el ritmo de la producción, ¿De qué sirve que otras producciones vayan a una mayor velocidad si el cuello de botella no produce con la misma rapidez? Esto solo provocaría un aumento de existencias e inventarios = pérdida de dinero. ¿Y cómo ayudamos al cuello de botella para obtener más ganancias? Hay varias opciones; Subcontratando la producción o comprando una máquina similar a la del cuello de botella, por ejemplo. Algo similar es lo que hice con Fran al aligerarle la carga para que pudiese caminar más rápido.

Conclusión: El cuello de botella SIEMPRE ha de llevar el ritmo de la organización. [5]

7.2 Caso Míster Bocado S.L

Enunciado obtenido del programa LYDES del Instituto Internacional San Telmo. Resolución original llevada a cabo por el alumno Gonzalo Abdselam Miró. [15]

7.2.1 Enunciado y explicación:

“Sí para el viernes de la semana que viene no generamos beneficios, Míster Bocado cerrará definitivamente”.

Este era el dilema que enfrentaba el recién contratado ingeniero de producción y mejora continua. Su función principal consistía en mejorar la eficiencia operativa y aumentar las ganancias con el objetivo de evitar la clausura del negocio. La propietaria, quien siempre se había destacado como líder en el sector, se encontraba desconcertada por los resultados insatisfactorios de este año. La situación la llevaba a considerar seriamente la posibilidad de cerrar la empresa.

La dueña, una experimentada negociadora con estudios especializados en logística, demuestra habilidades destacadas como vendedora y compradora. A pesar de su competencia en estas áreas, carece de conocimientos suficientes en el ámbito de producción para optimizar el rendimiento de su empresa. Ante los resultados desfavorables, y con el objetivo de revertir la situación, ha tomado la decisión de destituir al jefe de producción anterior y proceder a la contratación de un nuevo profesional en el área. Este cambio estratégico busca fortalecer la gestión productiva y mejorar la rentabilidad de la empresa bajo su dirección.

En Mister Bocado, la ausencia de beneficios ha sido una constante en un periodo considerable. Esta situación resulta desconcertante dado que la empresa ostenta condiciones consideradas como "ideales". La raíz del problema no reside en las cifras de ventas, sino en las **deficiencias en la organización de la producción**. La liquidez en la caja ha alcanzado niveles prácticamente nulos, y en caso de no generarse beneficios para el próximo viernes, la opción contemplada es el cierre definitivo de Mister Bocado. La propietaria, ha expresado su negativa a continuar invirtiendo en una empresa que solamente arroja pérdidas.

La **situación** es la siguiente:

Cientes: Se tiene contrato de ventas garantizadas para los dos siguientes años por un total semanal de 30.000 bocadillos de Bacon (B), 20.000 bocadillos de Hamburguesas (H) y 10.000 bocadillos Salad (hamburguesa con lechuga) (S). El cliente pagaba de inmediato en efectivo, no había problemas con los clientes.

Proveedores: La empresa cuenta con tres proveedores que suministran las materias primas empleadas en su proceso productivo. El pago a estos proveedores se realiza de manera exclusiva en efectivo, abarcando únicamente la cantidad de materia prima consumida durante la semana en curso. La confiabilidad de estos proveedores se respalda en la ausencia de riesgos significativos relacionados con la escasez de materias primas, lo que ha establecido un historial de confianza en la continuidad del suministro.

Fabricación: La línea de producción trata de cuatro líneas robotizadas que garantizaban cero defectos, tenían una calidad y un mantenimiento impecable.

Máquina C (Cortadora). Fileteaba el Bacon y la lechuga.

Máquina D (Dispensadora). Suministraba las porciones exactas de salsas.

Máquina M (Montadora). Conformaba el producto.

Máquina E (Envasadora). Empaquetado de los productos.

Se trataba de una línea continua, sencilla, con cero desperdicios.

Las máquinas tenían **mantenimiento** preventivo los fines de semana, por lo que operaban los cinco días de la semana, 8 horas cada una. Un total de 2.400 minutos semanales. La alta tecnología garantizaba que las operaciones no necesitaran ningún tiempo de preparación de máquina, ni produjeran desperdicios al cambiar la fabricación de un producto a otro. El coste de cualquier máquina de este proceso ronda el medio millón de €.

Personal: Estaba perfectamente entrenado para realizar sus labores, y sabían que la venta y materia prima estaban garantizadas, por lo que el futuro dependía de los de producción.

Gastos: El coste total era de 14.000 € semanales, excepto las materias primas, que se costeaban según la unidad.

Inventario: Los productos perecederos, el proceso es rápido y el mantenimiento preventivo durante los fines de semana, hacían que no hubiera inventario los fines de semana, cada semana se empezaba la fabricación con las líneas de producción vacías.

En los últimos meses, la empresa ha experimentado incumplimientos en los contratos de venta. Debido a esta situación, a pesar de contar con una demanda adicional, la dueña ha optado por no incrementar el volumen de ventas. Se debe a que la fabricación de cantidades superiores a la demanda de cualquiera de los productos resultaría en un excedente de inventario, que debido a que son productos perecederos, tendrían que ser desechados.

Información extra:

Solo hay una máquina de cada tipo. Comprar otra sería muy costoso, especialmente la Cortadora, con un precio de medio millón de euros.

Los gastos de operación fijo de incrementar un turno serían de 7.000 €.

Mapa de flujos. Indica los pasos que siguen los productos para su procesamiento. Desde que entra la materia prima hasta que se elabora el producto. Esta distribución ya estaba anteriormente, la cual se podrá usar para resolver el caso.

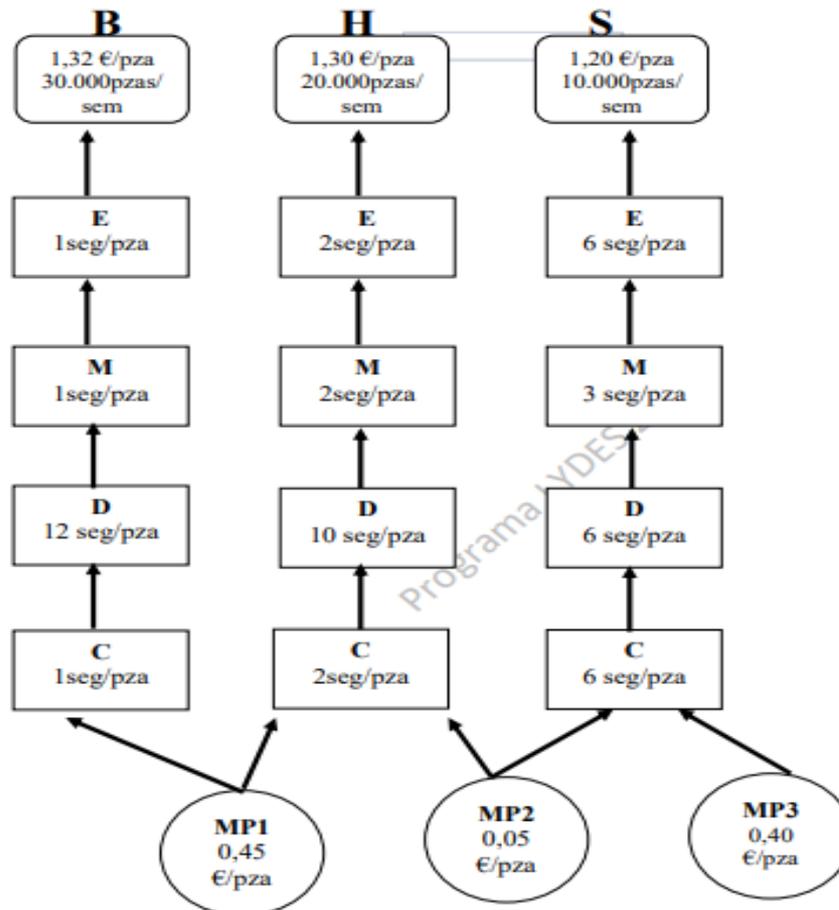


Ilustración 7. Cadena productiva caso Mister Bocadillo

Fuente: San Telmo Business School.

7.2.2 Solución:

Lo primero y más importante, es sacar los **datos** más relevantes para poder analizar el problema que se presenta.

Productos. Los productos ofrecidos por la empresa se caracterizan por su calidad máxima. La oferta se compone de tres variantes de bocadillos:

- Bocadillos de Bacon (B): Elaborados con pan, bacon y salsa BBQ.
- Bocadillos de Hamburguesas (H): Constituidos por los mismos ingredientes que la variante anterior, pero con la adición de una hamburguesa extra.
- Bocadillos Salad: Elaborados con pan, ketchup, lechuga y hamburguesa.

Demanda semanal. El producto más solicitado por la clientela es la variante de Bocadillos de Bacon (cuyo precio era de 1,32€/pieza), registrando una demanda de 30.000 unidades. Le sigue en orden de preferencia los Bocadillos de Hamburguesa, con una demanda de 20.000 unidades (con un precio de 1,30 €/pieza), y

posteriormente los Bocadillos Salad, con una demanda de 10.000 unidades (y un precio de 1,20€/pieza).

Producción. Las máquinas automatizadas implementadas en el proceso de producción operan con una eficacia del 100%, demostrando una efectividad integral en su desempeño. Estas máquinas se caracterizan por la ausencia de generación de desperdicios y la inexistencia de fallas operativas, lo cual se atribuye a la ejecución regular de prácticas de mantenimiento preventivo durante los fines de semana. Este enfoque proactivo asegura la continuidad y la calidad óptima del proceso productivo al eliminar posibles inconvenientes antes de que se materialicen en fallos operativos.

Gastos. El costo asociado con la operatividad continua del negocio se compone de una cifra fija semanal de 14,000 €, que abarca los gastos constantes, y se suma a los costos variables relacionados con la adquisición de materias primas.

Costes variables: Se agrupan tres montones de materia prima, facilitando la realización de los bocadillos.

- La materia prima 1 (MP1) consta de pan, bacon y salsa BBQ. El coste de una porción de cada uno de ellos para la elaboración de un bocadillo sería de 0,45 €.
- La materia prima 2 (MP2) únicamente incluye hamburguesas, cada una de ellas le cuesta al negocio 0,10 €, pero cada porción de bocadillo solo requiere media hamburguesa, por lo que realmente sale a 0,05 €/bocadillo.
- La materia prima 3 (MP3) incluye un conjunto de pan, ketchup y lechuga. El coste es de 0,40 €/bocadillo.

En la eventualidad de considerar la implementación de un turno de trabajo adicional, el incremento asociado en los Costes Fijos sería de 7.000 €. Este cálculo refleja el impacto financiero directo que conlleva la expansión operativa mediante la introducción de un nuevo turno laboral en la estructura operativa de la empresa.

Para llevar a cabo un análisis detallado de los productos, es necesario recopilar información específica sobre su tiempo de ciclo, el coste de la materia prima, el precio de venta y su rentabilidad.

Proceso B (Bocadillos de Bacon): El tiempo de ciclo de este proceso es de 15 segundos. Teniendo en cuenta lo que cuesta la materia prima (MP1) para producir un bocadillo (0,45 €), a cada uno de ellos se le sacaría 0,87 € (1,32 € - 0,45 €). Por lo que la rentabilidad es de 0,058 € (0,87 €/15 segundos) por segundo invertido en este proceso.

Haciendo la misma operación con los otros dos procesos, nos saldría que la rentabilidad de los Bocadillos de Hamburguesas es de 0.05467 €/segundo (el coste de materia prima es $MP1+MP2 = 0,50€$ y el tiempo de ciclo es de 16 segundos). Y la rentabilidad de los Bocadillos Salad es de 0.0357€/segundo (coste materia prima $MP2+MP3 = 0,45 €$ y tiempo de ciclo = 21 segundos).

La aparente diferencia de rentabilidad entre los Bocadillos de Bacon y los Bocadillos Salad, donde los primeros parecen ser más rentables y los segundos menos, podría derivar de una evaluación demasiado superficial. Es importante destacar que estos números podrían no reflejar fielmente la realidad del proceso de producción.

Teniendo en cuenta que cada cuadrado representa un segundo:

El proceso de los **Bocadillos de Bacon** consiste en, tras tener la materia prima MP1, pasa por la cortadora, donde tarda un segundo en cortar el bacon (color azul). Después, pasa por la Dispensadora (color rojo), que debe dedicarle 12 segundos a echar la salsa BBQ, posteriormente por la Montadora (color naranja), donde sólo está un segundo en montar el conjunto del bocadillo y finalmente es envasado (color verde) en un segundo. Aunque el tiempo que se tarda en hacer un Bocadillo de Bacon es de 15 segundos, eso no quiere decir que este sea su tiempo de ciclo. Si realizamos un **diagrama de Gam** con su proceso de fabricación, observamos que realmente

sale un Bocado de Bacon cada 12 segundos, por lo que este sería su tiempo de ciclo real. Como se observa, claramente la Dispensadora es el cuello de botella en este proceso, es la máquina que ralentiza todo el proceso considerablemente.

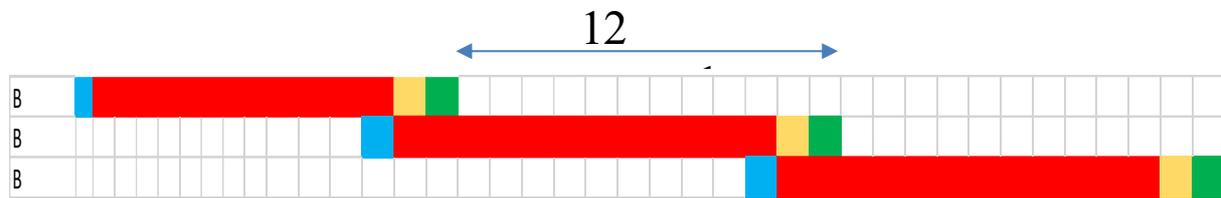


Ilustración 8. Producción de Bocado de Bacon

Fuente: Elaboración propia.

Proceso H (Bocado de Hamburguesas):

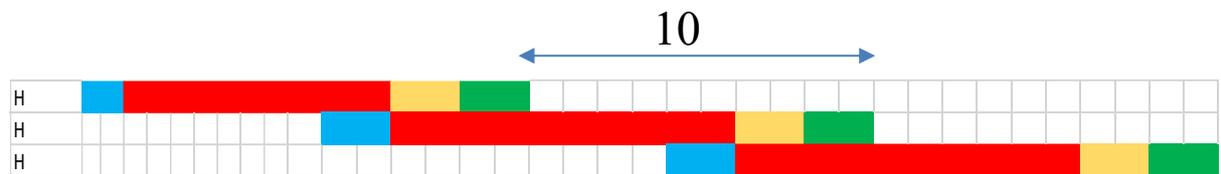


Ilustración 9. Producción de Bocado de Hamburguesa

Fuente: Elaboración propia.

En el proceso de producción de Bocado de Hamburguesa, inicialmente se observa un tiempo de fabricación de 16 segundos para cada unidad. Sin embargo, el tiempo de ciclo real, que es el intervalo de tiempo entre la producción consecutiva de unidades, es de 10 segundos.

- Tiempo de Producción Inicial del Bocado de Hamburguesa:
 - Duración: 16 segundos
 - Descripción: El proceso de producción comienza con la materia prima correspondiente, y a lo largo de varias etapas, se completa la fabricación del Bocado de Hamburguesa en un tiempo nominal de 16 segundos.
- Tiempo de Ciclo Real del Bocado de Hamburguesa:
 - Duración: 10 segundos
 - Descripción: Aunque el tiempo total de producción es de 16 segundos, el tiempo de ciclo real, es decir, el tiempo entre la salida de dos unidades consecutivas, es de 10 segundos. Este tiempo de ciclo real es crucial para evaluar la eficiencia y la capacidad de producción del proceso.
- Comparación con los Bocado de Bacon:
 - El tiempo de ciclo real de los Bocado de Hamburguesa es inferior al de los Bocado de Bacon (10 segundos frente a 12 segundos).

- Causa: A pesar de que la Dispensadora sigue siendo el cuello de botella en ambos procesos, en el caso de los Bocadillos de Hamburguesa, la Dispensadora ocupa menos tiempo en cada ciclo, lo que contribuye a una salida más rápida de unidades.

En resumen, a pesar de que el tiempo de producción inicial de un Bocadillo de Hamburguesa es mayor que el de un Bocadillo de Bacon, su eficiencia se destaca al tener un tiempo de ciclo real de 10 segundos, lo que significa que se produce una unidad completa cada 10 segundos. Esta eficiencia se atribuye a una gestión más efectiva del cuello de botella, representado por la Dispensadora, en comparación con el proceso de los Bocadillos de Bacon.

Proceso S (Bocadillos Salad):

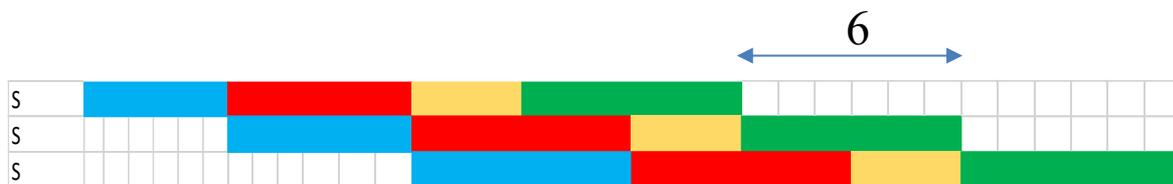


Ilustración 10. Producción de Bocadillos Salad

Fuente: Elaboración propia.

El producto que aparentemente era más lento de producir, llevado a la práctica es el más rápido, cada 6 segundos saldría un Bocadillo Salad. Esto se debe a que ya no existe un cuello de botella fijo que ralentiza todo el sistema, ahora los procesos C, D y E tardan lo mismo, 6 segundos, lo que permite una producción más rápida y eficaz.

Teniendo ahora los tiempos de ciclo reales, ¿Qué producto es el más rentable?

Bocadillos de Bacon: De la misma manera que se ha hecho al principio del análisis, simplemente se divide los $0,87 \text{ €}/12 \text{ segundos} = 0,0725 \text{ €/segundo}$ invertido en un bocadillo.

Haciendo la misma cuenta, se saca que la rentabilidad de Bocadillos de Hamburguesas es de $0,08 \text{ €/segundo}$ ($0,80 \text{ €}/10 \text{ seg}$) y la de Salad de $0,125 \text{ €/segundo}$ ($0,75 \text{ €}/6 \text{ seg}$).

Ya se pueden sacar varias **conclusiones iniciales**: Lo primero es que claramente los Bocadillos Salad son los productos más rentables, por cada segundo que se le dedique de la producción se obtendrá $0,125 \text{ €}$, mientras que el menos rentable son los Bocadillos de Bacon. Lo segundo es que ya se observa la importancia del cuello de botella, en la producción de Bocadillos de Bacon y Bocadillos de Hamburguesas es la Dispensadora, que tarda 12 segundos y 10 segundos, respectivamente, mientras que en la producción de los Bocadillos Salad no hay un cuello de botella fijo y tres de los cuatro procesos tardan 6 segundos. Esto lleva a la conclusión de que en todo momento es el cuello de botella el que marca el ritmo de la producción, el tiempo de procesado en el cuello de botella de cada producto es igual a su tiempo de ciclo.

Con los datos obtenidos, se procede a planificar la producción.

Tabla 3. Resultados en caso de producir solo un tipo de Bocadillo

Real solos					
	Ganacia	T unitario	T semanal	B semanales	Ganancia
Sólo B	0,87 €	12	144000	12000	10.440,00 €
GF Actual	14.000,00 €				
Resultado	- 3.560,00 €				
	Ganacia	T unitario	T semanal	H semanales	Ganancia
Solo H	0,80 €	10	144000	14400	11.520,00 €
GF Actual	14.000,00 €				
Resultado	- 2.480,00 €				
	Ganacia	T unitario	T semanal	S semanales	Ganancia
Solo S	0,75 €	6	144000	24000	18.000,00 €
GF Actual	14.000,00 €				
Resultado	4.000,00 €				

Fuente: Elaboración propia.

En esta tabla se aprecian las pérdidas o ganancias acumuladas en caso de dedicar los 2.400 minutos (o 144.000 segundos) semanales de los que se dispone. La única manera de conseguir ganancias inmediatas sería produciendo solo Bocadillos Salad, esto se debe a que como se ha visto anteriormente es el producto más rentable. Pero este proceso no puede llevarse a cabo por dos motivos: desatenderíamos la demanda de los otros productos y nos sobrarían Bocadillos Salad ya que solo necesitamos 10.000, y produciríamos 24.000.

Cómo claramente los Bocadillos Salad son los más rentables, vamos a producir hasta los 10.000 semanales que nos demandan y continuaremos con las Bocadillos de Hamburguesas, ya que son el segundo producto más rentable.

Tabla 4. Resultados en caso de producir Bocadillos Salad y luego de Hamburguesa

Real:	Ganacia U	T unitario	U semanales	Ganancia	T restante
S	0,75 €	6	10.000	7.500,00 €	84000
H	0,80 €	10	8400	6.720,00 €	
Total				14.220,00 €	
GF				14.000,00 €	
Beneficio				220,00 €	

Fuente: Elaboración propia.

Simplemente dedicándole toda la producción a producir los 10.000 Bocadillos Salad y parte de las Bocadillos de Hamburguesas (hasta que se nos agoten los segundos de producción disponibles), ya se obtendrían ganancias. facturarían 14.220 € menos los 14.000 € de Gastos Fijos, obteniendo una ganancia neta de 220 €.

Aún estaría gran parte de la demanda desatendida, aunque los Bocadillos de Bacon sean lo menos rentable, se perderían 30.000 ventas de este producto comprometidas a los dos próximos años, pudiendo provocar un descontento en los clientes. Además, de los 20.000 Bocadillos de Hamburguesas demandadas, solo atenderían a 8.400.

¿Qué implicaciones tendría añadir otro turno de trabajo adicional? Actualmente solo disponen de un turno de trabajo, y la dueña ha comunicado que el coste de implementar turnos extras es de 7.000 € Fijos.

El tiempo disponible de tener dos turnos de trabajo pasa a ser 288.000 segundos (144.000 segundos a la semana por turno). Con este tiempo se pueden producir los 10.000 Bocadillos Salad, los 20.000 Bocadillos de Hamburguesas y 2.333 Bocadillos de Bacon, consiguiendo un total de 4.530 €. Las ganancias aumentan de manera considerable.

Tabla 5. Resultados en caso de implementar un segundo turno de trabajo

Real X2:	Ganacia U	T unitario	U semanales	Ganancia	T restante
S	0,75 €	6	10.000	7.500,00 €	228000
H	0,80 €	10	20000	16.000,00 €	28000
B	0,87 €	12	2333,3	2.030,00 €	
Total				25.530,00 €	
GF				21.000,00 €	
Beneficio				4.530,00 €	

Fuente: Elaboración propia.

Pero aún no se ha cumplido con la demanda de los Bocadillos de Bacon. Por lo que se podría implementar un tercer turno.

Dispondrían de 432.000 segundos, con tres turnos los gastos serían los 14.000 € iniciales más los 7.000 € por turno, es decir, 28.000 €.

Tabla 6. Resultados en caso de implementar un tercer turno de trabajo

Real X3:	Ganacia U	T unitario	U semanales	Ganancia	T restante
S	0,75 €	6	10.000	7.500,00 €	372000
H	0,80 €	10	20000	16.000,00 €	172000
B	0,87 €	12	14333,3	12.470,00 €	
Total				35.970,00 €	
GF				28.000,00 €	
Beneficio				7.970,00 €	

Fuente: Elaboración propia.

Las ganancias volverían a subir hasta los 7.970 €. Sin necesidad alguna de comprar máquinas, solo tomando medidas que se pueden aplicar inmediatamente. Aun así, no se cumpliría con la demanda de los 30.000 Bocadillos de Bacon, se podrían ofrecer hasta 14.333 de ellos.

Hasta aquí la resolución del problema presente, en el que la dueña pedía solucionar los fallos de producción en una semana, sin necesidad de invertir dinero.

Una vez solucionado el problema presente, la dueña de Mister Bocadillos dice estar dispuesta a invertir de cara a un **futuro** prometedor. ¿Cómo puede sacar más ganancias?

La dispensadora es el cuello de botella para la producción de Bocadillos de Hamburguesas y de Bocadillos de Bacon, ¿qué pasaría si se compra una máquina de este tipo? ¿Cuánto se podría producir? ¿Saldría rentable? ¿Cuánto tiempo se tardaría en recuperar la inversión? ¿Cuáles serían los nuevos tiempos de ciclo?

Nuevos tiempos de ciclo:

El tiempo que requiere cada Bocadillo de Bacon o de Hamburguesas en el cuello de botella (Dispensadora) se reduciría a la mitad, quedando 6 segundos y 5 segundos, respectivamente. Como a pesar de comprar una nueva, sigue siendo el cuello de botella en estos dos productos (sigue siendo el proceso que más ralentiza la producción), siguen siendo el tiempo de ciclo.

Analizando los números que saldrían con este nuevo tiempo de ciclo, se observa que la ganancia se triplicaría y aún sobrarían 92.000 segundos, por lo que la dueña podrá incrementar las ventas.

Tabla 7. Resultados en caso de comprar otra dispensadora

Real X4:	Ganacia U	T unitario	U semanales	Ganancia	T restante
S	0,75 €	6	10.000	7.500,00 €	372000
H	0,80 €	5	20000	16.000,00 €	272000
B	0,87 €	6	30000,0	26.100,00 €	
Total				49.600,00 €	
GF				28.000,00 €	
Beneficio				21.600,00 €	

Fuente: Elaboración propia.

El coste de una nueva Dispensadora es de medio millón de €, en cuestión de 6 meses ya habrían recuperado dicha inversión.

Conclusión: Nuevamente se observa la importancia de saber manejar correctamente los Cuellos de Botella, y de cómo, en este caso, con la metodología TOC se ha reconfigurado el sistema de producción de manera sencilla y flexible, permitiendo obtener unas ganancias inmediatas sin necesidad de inversiones previas.

La importancia de identificar los cuellos de botella radica en su capacidad para señalar puntos críticos en un sistema. Los cuellos de botella son recursos que limitan la capacidad general de rendimiento de un sistema (en este caso la Dispensadora). Al identificarlos, se pueden abordar de manera específica para mejorar la eficiencia y evitar posibles interrupciones en el flujo operativo. Este análisis permite optimizar los recursos, mejorar la planificación y garantizar un rendimiento más eficaz.

El problema podría seguir desarrollándose, ahora que la Dispensadora dejará de ser un Cuello de Botella, podrían salir otros nuevos, y al analizarlos se podría aumentar aún más el rendimiento, y así continuamente. Por este motivo a la metodología TOC se le llama Proceso de Mejora Continua.

7.3 Caso Venta González

7.3.1 Introducción

Venta González es un restaurante de Sanlúcar la Mayor, en la provincia de Sevilla, que tiene la posibilidad de consumir tanto en restaurante como en barra. Con una carta variada, más de 25 platos diferentes y 1 camarero

por cada 9 comensales, más de la media (1 camarero por cada 15 comensales). Lo cual debería de bastar para dar un servicio excelente. Tiene una capacidad de 38 comensales en el área de restaurante y de 14 en el bar, siendo 52 la capacidad máxima total, por lo que dispone de 6 camareros/meseros y 2 cocineros (1 por cada 31 comensales, parecido a la media de 1 cada 30 comensales).

Hay dos camareros fijos en la barra, los otros 4 (denominados meseros para no confundir) se encuentran atendiendo las mesas.

La tarea de los camareros de la barra es la de atender a todos los clientes que se encuentren en ella, darle los platos de cocina a los cuatro meseros para que la repartan en el restaurante y la de cobrar a todos los clientes de la barra, además de darle la cuenta a los meseros para que cobren ellos mismos a los clientes del restaurante. También deben de lavar ellos mismos los platos de todo el negocio.

Los cuatro meseros se encargan de llevar la comida entregada por los dos camareros a las 11 mesas disponibles, además de limpiarlas y cobrarles al finalizar.

A pesar de la gran inversión que se había realizado para poner la nueva barra de bar y tener un número incluso superior de camareros a la media, nada iba bien. O había exceso de capacidad o de repente, en caso de llegar a un número alto de clientes todo se descontrolaba.

Entre semana había exceso de capacidad, como mucho se juntaban 15 clientes a la vez, y la mayoría iban a la barra a comer algo rápido. Siempre había cocineros, camareros y meseros desocupados. Por lo que se aburrían y se descuidaba el servicio.

Sin embargo, cuando llegaba el viernes el número de clientes subía, llegando a juntarse el viernes por la noche hasta 23 comensales. El problema es que la mayoría se quedaba en la barra tapeando, por lo que esta se llenaba, creando un caos entre los dos camareros que no podían encargarse de todas las tareas que se les había mandado. Mientras tanto, en cocina estaban medianamente ocupados, aunque no al límite de capacidad, de vez en cuando uno de los dos cocineros tenía tiempo libre. Todo esto ocurría mientras dos de los cuatro meseros prácticamente estaban quietos, ya que el restaurante no estaba ni a la mitad de su capacidad.

El caos absoluto llegaba los sábados y domingos, en los que se llenaba la barra del bar y el restaurante tenía algo más de clientela. Los cocineros se encontraban al máximo de su capacidad, podían atender la demanda medianamente bien. Por el contrario, los dos camareros de la barra se encontraban totalmente saturados, por lo que tardaban mucho en servir a los clientes de la barra (provocando su descontento), y no daban abasto cogiendo los platos de cocina para dárselos a los meseros, al igual que las facturas de las mesas del restaurante (provocando un aumento en la cantidad de platos servidos por cocina y esperando en la ventanilla, y la espera de los meseros en la barra porque esperaban estos platos y la factura de sus clientes). Todo esto hacía que los meseros perdiesen tiempo esperando, sin hacer nada en la barra del bar, y que se les acumulase el trabajo, degradando la calidad del servicio también en el restaurante, a pesar de que había capacidad suficiente para atender a todos los comensales.

Todo esto hacía que las personas que estaban en el restaurante quisieran coger hueco en el bar, ya que en el restaurante el servicio era pésimo, provocando una cola en el bar mientras que el restaurante tenía una sobrecapacidad enorme.

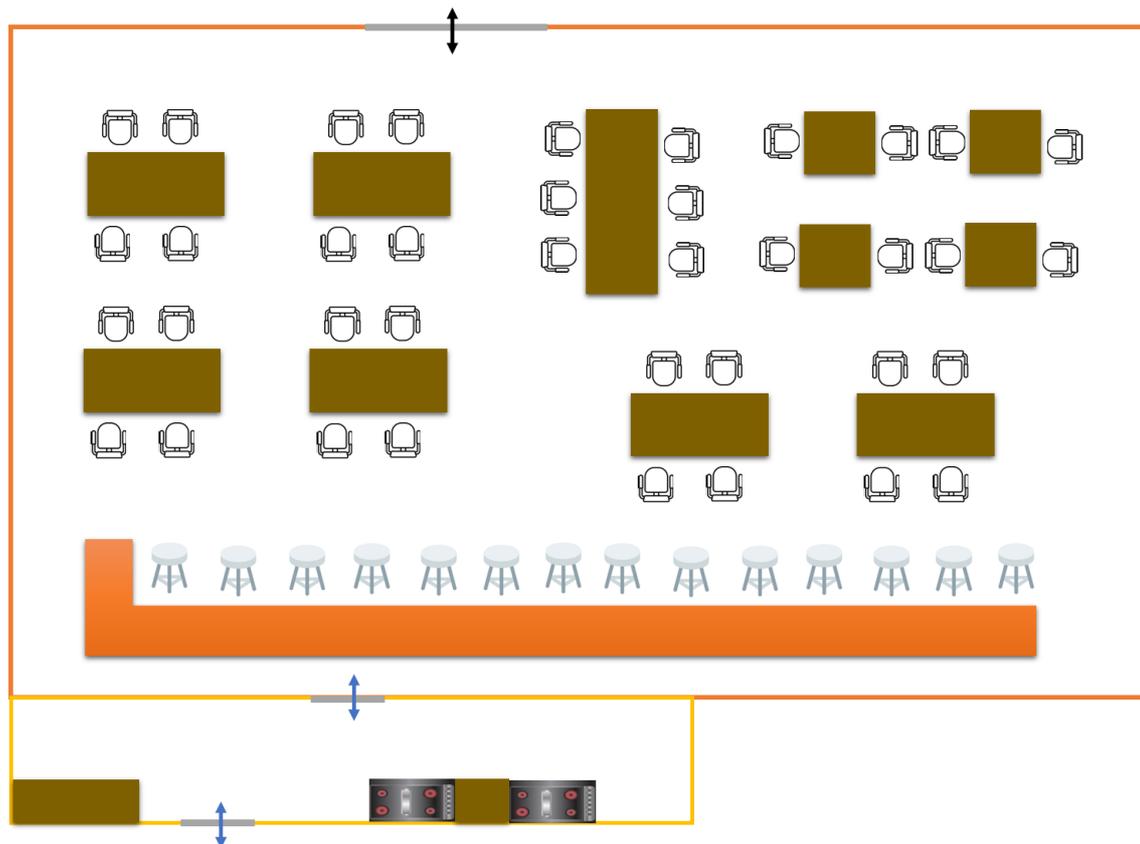


Ilustración 11. Disposición del local Venta González antes del cambio

Fuente: Elaboración propia.

El dueño no se podía creer que tras la inversión realizada no se resolviese la situación. Poseía más dinero para invertirlo, pero no iba a malgastarlo, por lo contrató a un nuevo encargado experimentado.

7.3.2 Solución

7.3.2.1 Opciones para resolver el problema

El encargado le propuso dos opciones:

1. Metodología TOC. Si quería resultados inmediatos con un bajo presupuesto, podía conseguirlo con este método. Claramente veía que los dos camareros de la barra eran el Cuello de Botella, y que contratando a otro los fines de semana podrían resolverse muchas de las situaciones que se presentaban, incluso se podrían ceder tareas como lavar los platos a los meseros cuando estos estuviesen libres. Le advirtió de que en este tipo de negocios existe la posibilidad de estancamiento a medio – largo plazo.
2. Metodología Lean. En caso de tener dinero suficiente era lo ideal, requería de un preciso entrenamiento de los empleados, además de una inversión para modernizar el sistema y los procesos. Pero a medio – largo plazo sería lo más rentable y fácil de gestionar.

El dueño optó por la segunda opción, ya que tenía dinero ahorrado, lo que quería era una gestión eficaz y rentabilizar el negocio. Nada de volver al caos, ni siquiera estancarse.

7.3.3 Proceso Lean

7.3.3.1 Árbol de causas. Hallar la raíz del problema

Primero se estudió el sistema actual. ¿Por qué estaban tan insatisfechos los clientes?

Para hallar la raíz del problema, se hizo un Árbol de Causas:

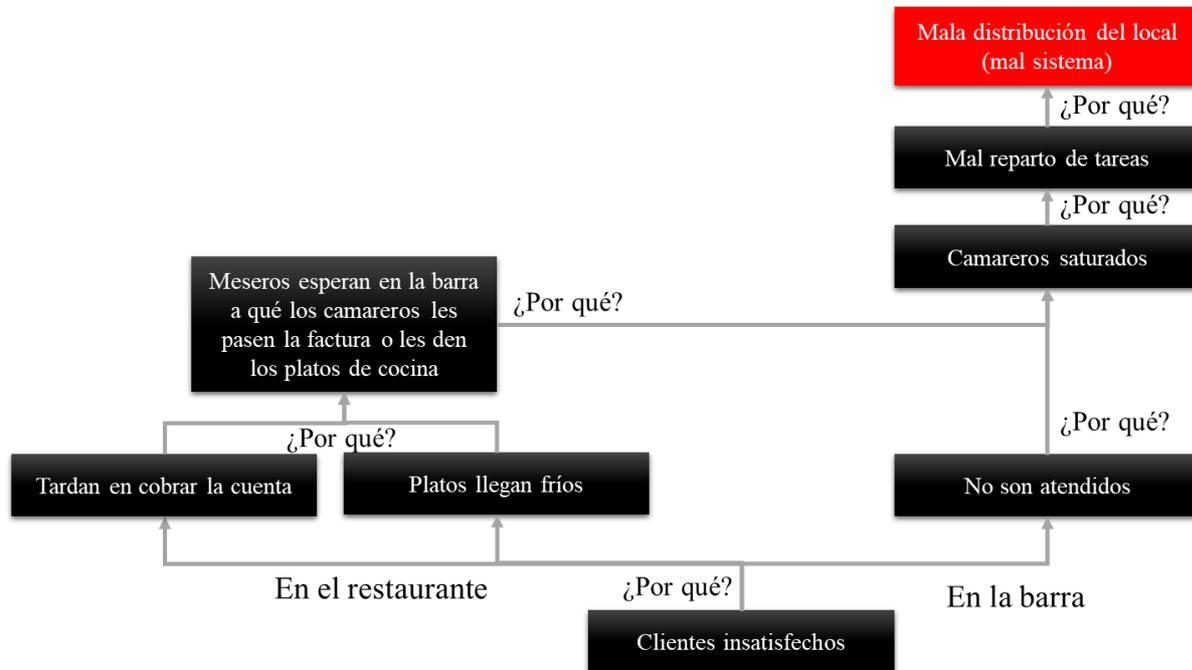


Ilustración 12. Árbol de causas Venta González antes del cambio

Fuente: Elaboración propia.

Tras hablar con todos los empleados, se ha llegado a la conclusión de que la raíz de todo está en el sistema actual, poco flexible y con una distribución del local pésima, que no ayuda a que exista una polivalencia entre el personal.

7.3.3.2 Análisis de desperdicios

A continuación, se ha analizado toda clase de desperdicios que se pueden observar a simple vista:

- ➔ Desperdicios de trasportes y movimientos. Es el más grave, hace que muchos de los movimientos de los empleados sean ineficientes. Esto se resolvería con una adecuada distribución del local.

El hecho de que los camareros tengan que darle los platos de cocina a los camareros (desperdicio de movimiento) provoca:

- Desperdicio de espera. Los meseros esperan en la barra a que los camareros les den los platos y las cuentas de los clientes del restaurante.
 - Desperdicio de inventario. Los platos se acumulan y se enfrían en la ventanilla, a espera de ser trasladados hasta los meseros.
- ➔ Desperdicio de inventario. Además del de los platos esperando en la ventanilla de cocina, existe un grave problema respecto al almacenamiento de productos congelados, acumulando una gran cantidad de carne, pescado y otros productos frescos en los congeladores.
 - Esto provoca un desperdicio de Defecto. Con esto evitan que se ponga mala la comida y reducen costes, pero el servicio y la calidad del producto disminuye considerablemente.

Las consecuencias de tener estos desperdicios en el negocio pueden ser muy graves y provocar que un cliente no quiera repetir.

7.3.3.3 Cambios de organización

Tras presentar el informe al dueño, este dio el visto bueno para comenzar con el proyecto Lean. Hay muchas cosas que cambiar y poco tiempo.

Se empieza por la raíz del problema, la mala organización del negocio. La distribución del local y del personal es ineficiente.

7.3.3.3.1 Cambio en la distribución del local

La nueva distribución será como la siguiente imagen:

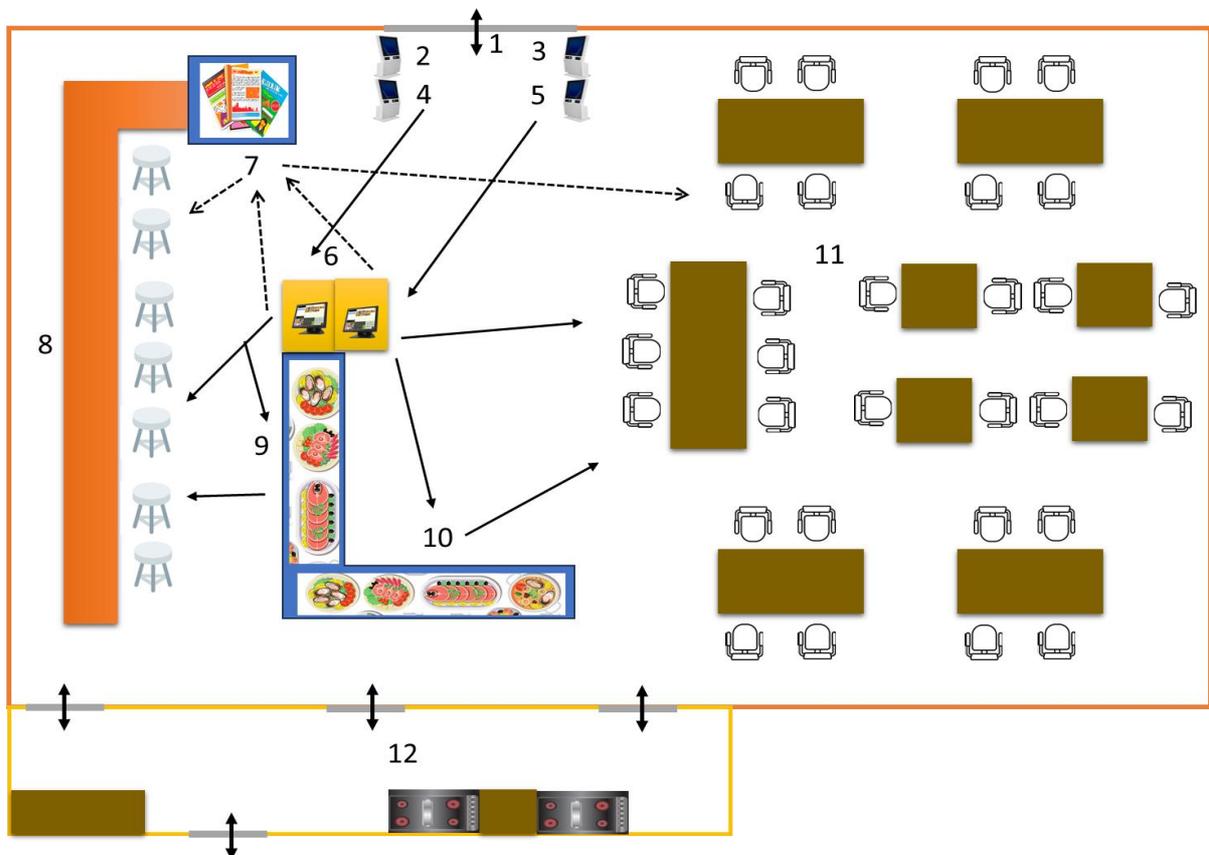


Ilustración 13. Disposición del local Venta González después del cambio

Fuente: Elaboración propia.

1. Acceso desde el exterior.
2. Tablero para pedir la comida de bar y restaurante.
3. Tablero para pedir la comida de bar y restaurante.
4. Tablero para self bar y restaurante.
5. Tablero para self bar y restaurante.
6. Cajas.
7. Mostrador con revistas animadas y prensa.

8. Barra de bar.
 9. Self service de bar.
 10. Self service de restaurante.
 11. Mesas del restaurante.
 12. Cocina.
- ➔ Posibles flujos de movimiento de los clientes.

Acciones del cliente:

1. Teclea en los tableros electrónicos los platos o consumiciones del bar, restaurante o self service (números 2 a 5 en el mapa).
2. Cliente coge su ticket y automáticamente la cocina o bar reciben la orden de elaboración de lo que se haya pedido.

Este proceso obedece a la filosofía pull, con un sistema muy flexible, ya que se cocina y prepara sobre el pedido del cliente, y el self selvice se elabora antes, pero controlado por un sistema tipo Kanban, que reaprovisiona el mostrador.

Esto es similar a lo que se hace en los supermercados. Se adquiere a los proveedores los productos que los clientes han retirado de las estanterías y justo en la cantidad retirada, conocida al pasar por caja. De esta forma, se reponen estos productos comprados de forma automática.

3. El cliente se dirige con el ticket recibido a las cajas (número 6), pagando su futura consumición. Y luego se dirige a la barra del bar (número 8), al self service del bar (número 9), al self service del restaurante (número 10), o a las mesas del restaurante (número 11), según el tipo de servicio que desea tener, pudiendo pasar por el mostrador de revistas (número 7). Mientras tanto, la cocina (número 12) elabora el plato o consumición solicitado. De esta forma, el proceso se realiza rápidamente, logrando una espera corta y cómoda por parte del cliente.

Todo esto se hace con un sistema de flujo lineal continuo, persona a persona, esencial en un sistema Lean.

7.3.3.3.2 Cambios en la formación del personal

Para los empleados, se convierte en un trabajo dinámico, en el que al cabo del día realizan varias tareas, amenizando la jornada laboral. Por ejemplo, una persona que solo trabajase de cajera, durante 8 horas, es probable que al cabo de las horas se aburra. Sin embargo, si se ocupa de la caja, el self service y de las mesas, se convierte en algo más diverso y dinámico. Para ello es fundamental la preparación de los empleados, y un buen sueldo. Con formación polivalente, se obtiene la flexibilidad necesaria para dirigir los esfuerzos hacia donde se precisen en todo momento, reasignando las tareas a realizar.

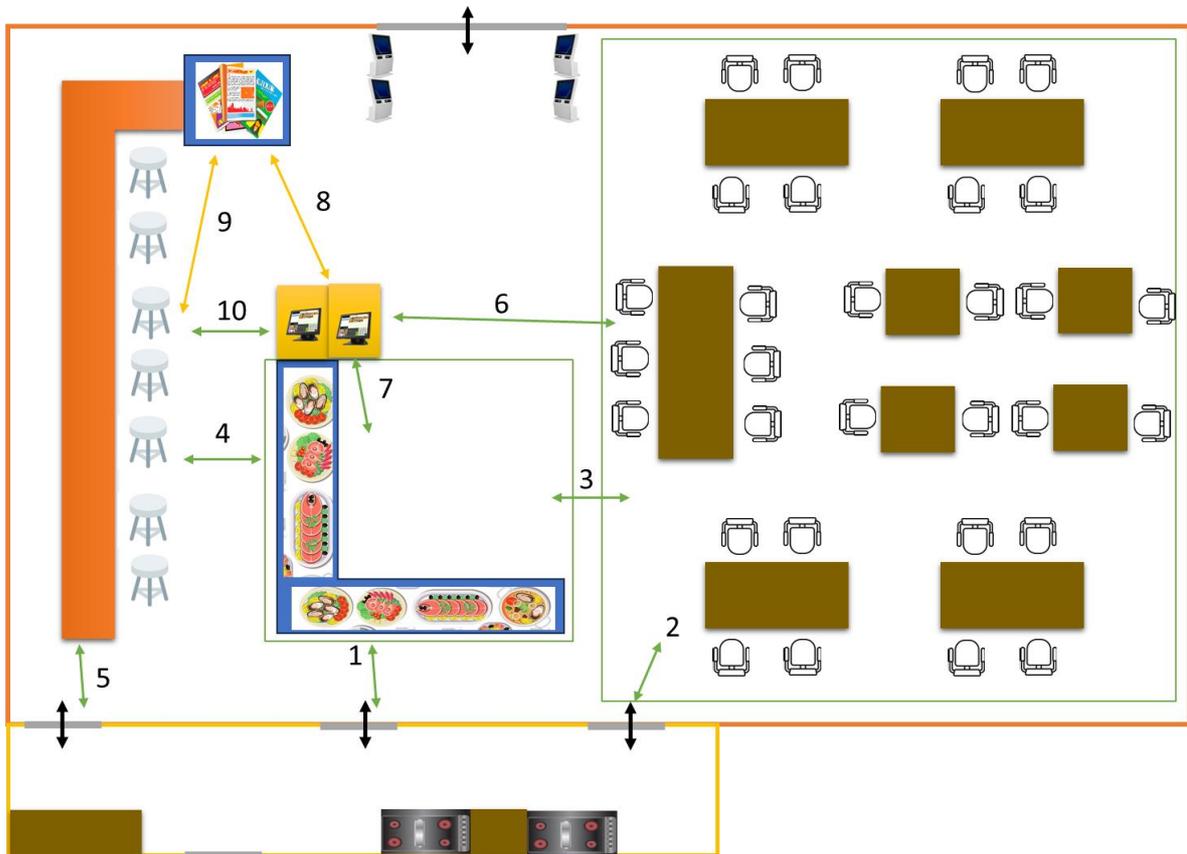


Ilustración 14. Movimientos de los empleados dentro del local Venta González después del cambio

Fuente: Elaboración propia.

Hay dos **tipos de formaciones** para el personal:

- Personal 1: Puede ocuparse de la caja, mesas del restaurante, barra del bar y del self service (del bar y del restaurante).
- Personal 2: Cocina para el restaurante, para el bar, y para ambos self service. Se encuentra dentro de la cocina

Además, ambos pueden encargarse de tareas comunes: prensa, frigorífico, recarga aprovisionamiento.

La imagen anterior representa el flujo de movimientos del personal tipo 1, ya que el personal tipo 2 se encuentra dentro de la cocina. Se observa como el despilfarro de transporte ha sido reducido lo máximo posible, ya que los movimientos que tienen que hacer los trabajadores para cumplir con su función de manera flexible, son lógicos y cortos. Por ejemplo, un empleado cobra al último cliente que está en la cola para pagar, y observa que hay muchos platos que recoger en las mesas del restaurante, para ello realiza el movimiento 6 y posteriormente el movimiento 2 para llevar esos platos a cocina. Ahora recibe un aviso de que hay que rellenar comida del self service, por lo que recoge la comida de cocina por la ventana dispuesta justo enfrente del self service y en tan solo el movimiento 1 ya ha completado esta tarea. Ha hecho tres tareas rápidamente y con pocos movimientos gracias a la disposición de la sala, que ha reducido el desperdicio de transporte considerablemente. Aparte, al recoger inmediatamente la comida de cocina para ponerla en el self service, ha reducido el “inventario” de comida acumulada en la ventanilla de cocina.

Ejemplo: Un empleado acaba de cobrarle a un cliente en la caja, y ante la ausencia de más clientes para pagar, apoya a los que llevan los platos a las mesas del restaurante. Poco después llega un nuevo cliente a la caja, este para de llevar platos a las mesas, le cobra, y continúa llevando platos.

A su vez, un empleado que estaba en la barra del bar y ya había atendido a los tres clientes que había en esta zona, se ha ido a reponer comida en el área de self service. Una vez finalizado vuelve a la barra, atiende a un nuevo cliente, y en ausencia de más pedidos recoge las 3 revistas que habían dejado los clientes en la barra y las devuelve al puesto de revistas y prensa.

La información necesaria para que el personal conozca que debe cambiar a otra operación, depende de cuál sea ésta. En las cocinas, las órdenes de elaboración visualizadas en el tablero electrónico, cuando se acumulan. En las mesas y bar, los clientes esperando. En las cajas, la formación de la más mínima cola de clientes para pagar. En el self service, la comida o bebida ya terminadas. En cuanto a las tareas comunes, se llevarán a cabo cuando no sean requeridos en las específicas. El tiempo sobrante, cuando el ritmo de clientes sea relativamente bajo, se dedicarán a las tareas administrativas y de mantenimiento.

Sistema de priorización de tareas:

1. Tareas específicas.
2. Tareas comunes.
3. Tareas de mantenimiento y administrativas.

De esta manera se cumple el principio de tener un servicio equilibrado, adaptando la capacidad general del negocio a la demanda (número de clientes).

Se ha realizado con procesos basados en una gran flexibilidad y adecuación del producto al cliente. Disminución considerable de desperdicios. Implantación de un flujo lineal continuo. Personal polivalente. Todo esto provoca que se pueda dar un servicio de calidad, que se presta con rapidez, a un coste bajo y dotado de una gran flexibilidad. Por ello, difícilmente se puedan dar problemas de capacidad. La capacidad se ajusta a la demanda hasta que algún elemento del sistema llegue a su límite, pasando a ser un “cuello de botella”, que en el Rapid son los hornos. Su capacidad antes de convertirse en cuello de botella alcanza para atender a 35 clientes a la vez. El número máximo de asientos que se tiene es de 37, por lo que podría cubrir prácticamente la totalidad de la máxima capacidad del restaurante.

7.3.3.3.3 Sistemas poka-Yoke intercalados en el proceso del sistema.

El sistema de inventario automatizado para el self service o el pago inmediato y digital por las pantallas son claros sistemas Poka – Yoke, que minimizan posibles errores que antes cometían manualmente los camareros.

7.3.3.3.4 Cambios en el menú

El menú pasa de 25 platos a 13 platos. Perfeccionando su elaboración y permitiendo intercalar un tipo de plato con otro, aumentando la variedad en una sola comida. Esto permite perfeccionar la elaboración de los nuevos platos y una organización de ellos gracias al nuevo sistema de aprovisionamiento, ofreciendo siempre productos frescos y de primera calidad.

7.3.3.3.5 Cambios en el sistema de aprovisionamiento

El suministro de aprovisionamientos debe de ser gestionado con rapidez y exactitud, de manera eficaz. Para ello, se dividirán en tres tipos de suministros:

- A. Alimentos de primer orden. Carne, pescado, frutas y verduras. Se llevarán a cabo con Just In Time, es decir, justo cuando se necesite, reduciendo el stock al mínimo, ya que suelen ser productos en el que la frescura se hace notar en la calidad de este.
- B. Aprovisionamientos no tan delicados pero cuyo precio es elevado. Conservas y bebidas. Se realizará el suministro de forma diaria, de forma que el stock sea bajo.
- C. Alimentos que no sean de primer orden como los tipo A, y que los precios no sean tan elevados como los tipo B. Suministro se realiza semanalmente, dando lugar a un cierto nivel de stock.

Los proveedores de los tipo A y B sirven con rapidez, reduciendo dos tipos de desperdicios, los tiempos perdidos y la acumulación de stock.

En resumen:

1. El producto-servicio servido a los clientes, así como la capacidad, se ajustan a la demanda.
2. Ausencia de stock acumulado.
3. Lead time (tiempo total del servicio, desde que entra el cliente hasta que se le sirve la comida) de servicio al cliente muy corto.
4. Minimización de tiempos de espera de los clientes y reducción de tiempo perdido de los empleados.
5. Flexibilidad muy elevada que permite ajustar la capacidad a la demanda, gracias a la polivalencia del personal y a los medios fáciles de adaptar.
6. Operar en lotes de una unidad, cliente a cliente.
7. Eliminación de cualquier tipo de desperdicio, como procesos inadecuados, transportes largos, movimientos ineficientes o baja calidad.

[14]

Grandes cadenas como Restalia, Telepizza o McDonald trabajan con esta metodología. Cuando vas a un Telepizza, te puedes encontrar al mismo trabajador limpiando mesas, en la caja cobrando o atendiendo pedidos a domicilio por teléfono.

8 SIMULACIÓN PARA COMPARAR LEAN, LSS Y TOC

Para poner en contexto la efectividad de las diferentes metodologías mencionadas, se va a realizar una simulación en Excel con el formato Montecarlo. Se va a simular una misma línea con distintos enfoques, para comprobar lo que afecta cada uno de ellos al rendimiento y al inventario:

1. Simulación según la filosofía Lean, con una línea equilibrada.
2. Simulación según la metodología Lean Six Sigma, aplicando una línea equilibrada con una variabilidad reducida (gracias al uso del Six Sigma).
3. Simulación usando la Teoría de las Restricciones, aplicando una restricción al sistema.
4. Simulación nuevamente usando la Teoría de las Restricciones, pero esta vez se le aplicará Lean Six Sigma al cuello botella para aumentar su rendimiento y disminuir al máximo su variabilidad.
5. Simulación que juntará las simulaciones 2 y 4. Se simulará con el uso de la Teoría de las Restricciones, pero esta vez se le aplicará LSS a todo el sistema, no solo al Cuello de Botella.
6. Simulación 6. Similar a la 5 pero aumentando la capacidad del Cuello de botella.

Datos

- Se supondrá que la línea siempre va a tener materia prima al inicio de su proceso. Por lo tanto, la primera máquina tendrá inventario de sobra (500, por ejemplo).
- La simulación se hará imitando la producción de una misma línea al cabo de 20 procesos, para darle credibilidad a los resultados.
- Las otras 5 máquinas que forman parte de la línea empezarán con un inventario decente de 4 piezas, para que puedan empezar a producir nada más empezar el proceso.

8.1 Simulación 1. Aplicación de una línea equilibrada Lean.

En la siguiente imagen se pueden observar las dos primeras rondas de las veinte simuladas, en la primera se observa el inventario inicial de cada máquina. Como se ha dicho, la máquina 1 tiene materia prima de sobra (500) mientras que el resto de las máquinas empiezan con un inventario = 4. Al

Al ser una planta equilibrada, como defiende la filosofía Lean, todas las máquinas tienen la misma capacidad máxima de procesamiento (seis), no existe sobrecapacidad en ninguna de ellas. Teniendo en cuenta la variabilidad que existe en una planta, en algunas máquinas se llega a procesar una y en otras seis. Esto provoca cuellos de botellas temporales, los cuales serán un dolor de cabeza para los encargados. Por ejemplo, en esta simulación la máquina dos procesa solo una pieza, esto se puede deber a múltiples factores, como que el trabajador encargado haya enfermado o que la misma máquina haya sufrido un desperfecto. Mientras que la máquina que le precede, la tres, ha sido muy efectiva y podría procesar el máximo, pero solo tiene en su cola cinco piezas (las cuatro iniciales más la máquina dos), por lo tanto, la máquina dos es un claro ejemplo de un cuello de botella temporal.

Tabla 8. Primeras dos rondas de procesado Simulación 1

	Máquinas	ALEATORIO	Piezas procesadas	Inventario inicial	STOCK	piezas pasan	Inventario final
Ronda 1	1	0,743113611	5	500	505	5	500
	2	0,518798674	4	4	9	4	5
	3	0,500244599	4	4	8	4	4
	4	0,573556379	4	4	8	4	4
	5	0,107152859	1	4	8	1	7
	6	0,045682954	1	4	5	1	4
Ronda 2	1	0,92277135	6	500	506	6	500
	2	0,093264988	1	5	11	1	10
	3	0,802155209	5	4	5	5	0
	4	0,313633853	2	4	9	2	7
	5	0,759346407	5	7	9	5	4
	6	0,464212184	3	4	9	3	6

Fuente: Elaboración propia.

Tras simular las veinte rondas, los resultados son los siguientes:

Tabla 9. Resultados Simulación 1

Simulación 20 rondas	Lean
Promedio piezas	53
Promedio mínimo	20
Promedio máximo	120
Rendimiento ideal	44%
Inventario inicial	20
Inventario final	34

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, el rendimiento deja mucho que desear, solo se ha sido capaz de producir un 44% del máximo que se podría producir. Además, el inventario final ha crecido, pasando de 20 en la primera ronda (debido a las 4 piezas iniciales que se le ha puesto de inventario a cada máquina) a 34 en la ronda final (inventario resultante).

8.2 Simulación 2. Planta equilibrada aplicando Lean Six Sigma.

Tras una gran inversión en maquinaria más moderna y formación del personal, se puede aplicar Six Sigma a una planta Lean, consiguiendo reducir la variabilidad notablemente. Por ello, esta vez la variabilidad de producción irá de cuatro a seis, en vez de uno a seis, aumentando considerablemente la producción.

Tabla 10. Primeras dos rondas de procesado Simulación 2

	Máquinas	ALEATORIO	Piezas procesadas	Inventario inicial	STOCK	piezas pasan	Inventario final
Ronda 1	1	0,056382593	4	500	504	4	500
	2	0,199915366	4	4	8	4	4
	3	0,684218417	6	4	8	6	2
	4	0,311082636	4	4	10	4	6
	5	0,501030722	5	4	8	5	3
	6	0,52498535	5	4	9	5	4
Ronda 2	1	0,065228334	4	500	504	4	500
	2	0,515857613	5	4	8	5	3
	3	0,425530574	5	2	7	5	2
	4	0,614461269	5	6	11	5	6
	5	0,038016782	4	3	8	4	4
	6	0,57208469	5	4	8	5	3

Fuente: Elaboración propia.

Las ventajas principales son la reducción de probabilidad de que surjan cuellos de botella temporales de gravedad, un aumento muy importante en la producción y en el rendimiento, y un descenso de los inventarios, que se mantienen casi como al principio. En la simulación realizada los resultados son los siguientes:

Tabla 11. Resultados Simulación 2

Simulación 20 rondas	LSS
Promedio piezas	95
Promedio mínimo	20
Promedio máximo	120
Rendimiento ideal	79%
Inventario inicial	20
Inventario final	18

Fuente: Elaboración propia.

8.3 Simulación 3. Uso de la TOC de manera “inadecuada”

Simplemente se va a dejar que todas las máquinas tengan sobrecapacidad, menos una de ellas (la cuatro, por ejemplo), simulando ser esta el cuello de botella.

Tabla 12. Primeras dos rondas de procesado Simulación 3

	Máquinas	ALEATORIO	Piezas procesadas	Inventario inicial	STOCK	piezas pasan	Inventario final
Ronda 1	1	0,138009839	3	500	503	3	500
	2	0,066413636	2	4	7	2	5
	3	0,88240955	11	4	6	6	0
	4	0,225446082	2	4	10	2	8
	5	0,02309066	2	4	6	2	4
	6	0,067050301	2	4	6	2	4
Ronda 2	1	0,66196432	9	500	509	9	500
	2	0,81235967	10	5	14	10	4
	3	0,582178704	8	0	10	8	2
	4	0,719747987	5	8	16	5	11
	5	0,50322819	7	4	9	7	2
	6	0,475886996	7	4	11	7	4

Fuente: Elaboración propia.

Todas las máquinas pueden procesar de una a doce piezas, menos la cuatro, que al ser el cuello de botella solo puede procesar de una a seis, la mitad que el resto. Tras veinte procesos completos, sucede lo siguiente:

Tabla 13. Resultados Simulación 3

Simulación 20 rondas	TOC incorrecto
Promedio piezas	66
Promedio mínimo	20
Promedio máximo	120
Rendimiento ideal	55%
Inventario inicial	20
Inventario final	86
Inventario CB	65
Inventario no CB	21

Fuente: Elaboración propia.

Su rendimiento e inventario no son equiparables al de la simulación 2 (Lean Six Sigma), el rendimiento es mucho más pequeño y el inventario final muy superior, sin embargo, si lo comparamos con la planta inicial basada en la metodología Lean, el rendimiento es considerablemente superior. Hay que tener en cuenta que para formar a una planta entera para aplicar la metodología LSS, además de ser un proceso complicado y casi imposible, ya que nunca se logrará la perfección absoluta, el coste puede ser monumental, mientras que para una línea TOC el presupuesto puede ser ínfimo, simplemente hay que estar pendientes del cuello de botella y de que siempre tenga productos que procesar, de ahí que la mayoría de inventario se acumule en los cuellos de botella, es un inventario útil que permitirá un aumento en el rendimiento.

En este punto, cada cual puede tener diferentes opiniones de las metodologías TOC y LSS. TOC puede ser mucho más barato, rápido, realista y flexible, pero LSS puede alcanzar casi la perfección, algo que toda empresa desea. ¿Por qué no coger lo mejor de cada metodología y aplicarlas? Si se juntan la búsqueda de una línea desequilibrada, centrándose en un cuello de botella, pero a este mismo cuello de botella se le aplica LSS, reduciendo su variabilidad y alcanzando su perfección, el resultado debería de ser extraordinario.

Se verá a continuación, con la **simulación 4**.

8.4 Simulación 4. Aplicación de LSS al cuello de botella.

Se va a simular nuevamente usando la TOC, pero esta vez, además, se le aplicará LSS al cuello de botella para aumentar su rendimiento y disminuir al máximo su variabilidad. La metodología TOC suele aplicarse de esta manera, disponiendo el Cuello de Botella de todos los recursos posibles.

Tabla 14. Primeras dos rondas de procesado Simulación 4

	Máquinas	ALEATORIO	Piezas procesadas	Inventario inicial	STOCK	piezas pasan	Inventario final
Ronda 1	1	0,96157487	12	500	512	12	500
	2	0,314222697	5	4	16	5	11
	3	0,295746986	5	4	9	5	4
	4	0,972340218	6	4	9	6	3
	5	0,209222046	4	4	10	4	6
	6	0,111976623	3	4	8	3	5
Ronda 2	1	0,749058235	10	500	510	10	500
	2	0,196634107	4	11	21	4	17
	3	0,157040991	3	4	8	3	5
	4	0,030314709	6	3	6	6	0
	5	0,674875949	9	6	12	9	3
	6	0,84861604	11	5	14	11	3

Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera que la simulación 3, la máquina 4 será el cuello de botella, pero esta vez, con la ayuda de la TOC y del LSS, esta máquina no tendrá apenas variabilidad y se mantendrá en 6 el número de piezas que puede procesar, que es el máximo del rango que podía en las simulación anterior. El resto de las máquinas sigue con la misma variabilidad y con la misma sobrecapacidad.

Tabla 15. Resultados Simulación 4

Simulación 20 rondas	TOC correcto
Promedio piezas	101
Promedio mínimo	20
Promedio máximo	120
Rendimiento ideal	84%
Inventario inicial	20
Inventario final	36
Inventario CB	9
Inventario no CB	27

Fuente: Elaboración propia.

El inventario en el cuello de botella ha descendido notablemente, sin embargo, sigue teniendo SIEMPRE piezas que procesar, en este caso 9 piezas, ya que SIEMPRE ha de estar ocupado. En general, el inventario sufre un leve crecimiento, pero en comparación con la increíble subida del rendimiento, no tiene importancia. El rendimiento actual sería del 84%, muy superior al de las simulaciones anteriores.

La inversión seguiría siendo ínfima en comparación con aplicar LSS a toda la línea, simplemente aplicando LSS al cuello de botella, el rendimiento tiene un crecimiento exponencial, los inventarios tienen un crecimiento leve y el coste sería prácticamente el de formar solo a los empleados del cuello de botella.

Este sería un método que daría resultados inmediatos a un coste relativamente bajo, pero se puede ir un paso más allá en caso de tener suficientes fondos. Que se verá con la **simulación 5**.

8.5 Simulación 5. Aplicación de LSS a todo el sistema

En la **simulación 5** se ha invertido en LSS para toda la línea, reduciendo la variabilidad de todas las máquinas de 1 a 12 que tenía anteriormente hasta pasar a tener una variabilidad de 10 a 12. Menos, por supuesto, en el cuello de botella, que se mantiene con el ritmo fijo de 6 piezas procesadas por turno.

Tabla 16. Primeras dos rondas de procesamiento Simulación 5

	Máquinas	ALEATORIO	Piezas procesadas	Inventario inicial	STOCK	piezas pasan	Inventario final
Ronda 1	1	0,821645613	12	500	512	12	500
	2	0,641022209	11	4	16	11	5
	3	0,746794487	12	4	15	12	3
	4	0,298590057	6	4	16	6	10
	5	0,185855825	10	4	10	10	0
	6	0,604624608	11	4	14	11	3
Ronda 2	1	0,327184876	10	500	510	10	500
	2	0,137268074	10	5	15	10	5
	3	0,552922483	11	3	13	11	2
	4	0,45145915	6	10	21	6	15
	5	0,893401069	12	0	6	6	0
	6	0,704833467	12	3	9	9	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Resultados Simulación 5

Simulación 20 rondas	TOC + LSS (6)
Promedio piezas	128
Promedio mínimo	20
Promedio máximo	120
Rendimiento ideal	107%
Inventario inicial	20
Inventario final	113
Inventario CB	107
Inventario no CB	6

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 17, los resultados son maravillosos. El inventario en los procesos no cuellos de botella es prácticamente inexistente, y el rendimiento ha crecido como nunca. Hemos dicho que tener inventario en el cuello de botella es algo bueno, pero en este caso ha crecido bastante, debido a que el resto de la planta ha aumentado su productividad, ofreciendo piezas para procesar al cuello de botella de sobra.

Pero se puede perfeccionar esto un poco más. Si el cuello de botella, a pesar de producir al máximo de su capacidad no es capaz de cumplir con la demanda y se le acumula demasiado inventario, ¿qué se puede hacer? Simplemente aumentar su capacidad, siempre y cuando no iguale al del resto de máquinas, ya que se convertiría en una planta equilibrada y ya hemos visto que no es lo deseable en este caso.

8.6 Simulación 6. LSS a todo el sistema + Aumento de la capacidad del Cuello de Botella.

Similar a la simulación cinco, con la diferencia de que se ha aumentado la capacidad del Cuello de Botella.

Tabla 18. Primeras dos rondas de procesado Simulación 6

	Máquinas	ALEATORIO	Piezas procesadas	Inventario inicial	STOCK	piezas pasan	Inventario final
Ronda 1	1	0,692056089	12	500	512	12	500
	2	0,697758662	12	4	16	12	4
	3	0,685581586	12	4	16	12	4
	4	0,132142867	10	4	16	10	6
	5	0,950170216	12	4	14	12	2
	6	0,894133721	12	4	16	12	4
Ronda 2	1	0,418320022	11	500	511	11	500
	2	0,927433169	12	4	15	12	3
	3	0,035087978	10	4	16	10	6
	4	0,272006873	10	6	16	10	6
	5	0,256532319	10	2	12	10	2
	6	0,151565156	10	4	14	10	4

Fuente: Elaboración propia.

Se ha aumentado la capacidad del Cuello de Botella de 6 piezas a 10 piezas por turno.

Tabla 19. Resultados Simulación 6

Simulación 20 rondas	TOC + LSS (10)
Promedio piezas	208
Promedio mínimo	20
Promedio máximo	120
Rendimiento ideal	173%
Inventario inicial	20
Inventario final	33
Inventario CB	25
Inventario no CB	8

Fuente: Elaboración propia.

El resultado es increíble. El rendimiento ha tenido un crecimiento bestial, el inventario en el Cuello de botella ha disminuido, pero sigue teniendo siempre piezas que procesar, y el inventario en las máquinas no cuellos de botella sigue siendo ínfimo.

Para mejorar el sistema, hay que mejorar el rendimiento respecto a la limitación. En vez de mejorarlo todo, se mejora lo que aumente la rentabilidad de la limitación.

Un problema mayor sería aumentar su capacidad incluso más que el resto de las máquinas, esto causaría la aparición de futuros cuellos de botella, y se nos podría descontrolar la situación. Por lo tanto, aumentemos algo la capacidad del cuello de botella ya sea subcontratando la producción fuera o comprando una máquina que apoye a esta.

Si a la máquina 4 se le pone, por ejemplo, una sobrecapacidad de procesamiento de 14 piezas por turno pasa lo siguiente:

Tabla 20. Resultados Simulación 6 con sobrecapacidad

Simulación 20 rondas	TOC + LSS (14)
Promedio piezas	221
Promedio mínimo	20
Promedio máximo	120
Rendimiento ideal	184%
Inventario inicial	20
Inventario final	18
Inventario CB	0
Inventario no CB	18

Fuente: Elaboración propia.

El rendimiento ha aumentado levemente, sin embargo, el antiguo cuello de botella ya no tiene inventarios, pero ha pasado al resto de procesos, lo que provocará un futuro caos en la dirección de la planta. La opción más conveniente en este caso es realizar un esfuerzo en la dirección y volver a aplicar los mismos pasos con el nuevo cuello de botella, siguiendo el Proceso de Mejora Continua que dicta la metodología TOC.

8.7 Resumen de los resultados obtenidos

Para realizar un resumen y dejar claros los conceptos claves expuestos en este ejercicio, se van a exponer los resultados de tres simulaciones de que cada tipo, para darle aún mayor veracidad.

Con la **Simulación 1** se ha visto la aplicación de una metodología tan famosa como **Lean**, manteniendo una **línea equilibrada**. Los resultados no son lo que se espera porque Lean se centra más en la reducción de costes y agilizar los procesos, quieren productividad.

Tabla 21. Resumen simulación 1

Simulación 20 rondas	Lean	Simulación 20 rondas	Lean	Simulación 20 rondas	Lean
Promedio piezas	58	Promedio piezas	49	Promedio piezas	61
Promedio mínimo	20	Promedio mínimo	20	Promedio mínimo	20
Promedio máximo	120	Promedio máximo	120	Promedio máximo	120
Rendimiento ideal	48%	Rendimiento ideal	41%	Rendimiento ideal	51%
Inventario inicial	20	Inventario inicial	20	Inventario inicial	20
Inventario final	30	Inventario final	38	Inventario final	31

Fuente: Elaboración propia

El inventario final en las tres simulaciones ha aumentado respecto al inicial y el rendimiento es mediocre. Además, se observa que el rendimiento varía mucho, esto se debe a que existe variabilidad (que un proceso salga mal, que un empleado enferme, etc.).

Actualmente, Lean suele combinarse con Six Sigma, formando **Lean Six Sigma**, que sí que puede llegar a ser una poderosa herramienta de optimización, como se ha visto con la **simulación 2**.

Tabla 22. Resumen simulación 2

Simulación 20 rondas	LSS	Simulación 20 rondas	LSS	Simulación 20 rondas	LSS
Promedio piezas	100	Promedio piezas	98	Promedio piezas	102
Promedio mínimo	20	Promedio mínimo	20	Promedio mínimo	20
Promedio máximo	120	Promedio máximo	120	Promedio máximo	120
Rendimiento ideal	83%	Rendimiento ideal	82%	Rendimiento ideal	85%
Inventario inicial	20	Inventario inicial	20	Inventario inicial	20
Inventario final	20	Inventario final	19	Inventario final	21

Fuente: Elaboración propia.

Además. Si nos fijamos en el rendimiento, la variabilidad es mínima. Este es uno de los puntos clave de esta metodología, reducir la variabilidad en los procesos y, como consecuencia, el inventario final también disminuye.

La desventaja del LSS es que requiere una fuerte inversión y una preparación excepcional. No siempre es realista aplicar un cambio de estas dimensiones.

En la **simulación 3** se ha planteado una **supuesta línea de producción** con la metodología **TOC**. Un jefe inexperto puede aplicar esta teoría, simplemente aumentando la capacidad de todos los recursos menos del cuello de botella. En este caso el rendimiento aumentará, pero la variabilidad es gigantesca. Hay veces en las que el rendimiento es realmente bueno para no haber invertido prácticamente nada (como en la primera simulación que se muestra en la siguiente tabla) y otras en las que el rendimiento no será tan bueno. También se observa que los inventarios crecen bastante. En resumen, con una inversión mínima, se ha aumentado el rendimiento, pero ha aumentado la variabilidad y el inventario, ya la empresa ha de juzgar si es rentable o no este cambio.

Tabla 23. Resumen simulación 3

Simulación 20 rondas	TOC incorrecto	Simulación 20 rondas	TOC incorrecto	Simulación 20 rondas	TOC incorrecto
Promedio piezas	79	Promedio piezas	64	Promedio piezas	57
Promedio mínimo	20	Promedio mínimo	20	Promedio mínimo	20
Promedio máximo	120	Promedio máximo	120	Promedio máximo	120
Rendimiento ideal	66%	Rendimiento ideal	53%	Rendimiento ideal	48%
Inventario inicial	20	Inventario inicial	20	Inventario inicial	20
Inventario final	57	Inventario final	71	Inventario final	131
Inventario CB	41	Inventario CB	63	Inventario CB	74
Inventario no CB	16	Inventario no CB	8	Inventario no CB	57

Fuente: Elaboración propia.

Un **correcto** uso de la **TOC** implica una preparación del personal para tener siempre activo y en funcionamiento el Cuello de Botella, por lo que la variabilidad de este ha de ser mínima. Es un cambio que no requiere de mucha preparación ni inversión. Esto se ve con la **simulación 4**.

Tabla 24. Resumen simulación 4

Simulación 20 rondas	TOC correcto	Simulación 20 rondas	TOC correcto	Simulación 20 rondas	TOC correcto
Promedio piezas	114	Promedio piezas	102	Promedio piezas	107
Promedio mínimo	20	Promedio mínimo	20	Promedio mínimo	20
Promedio máximo	120	Promedio máximo	120	Promedio máximo	120
Rendimiento ideal	95%	Rendimiento ideal	85%	Rendimiento ideal	89%
Inventario inicial	20	Inventario inicial	20	Inventario inicial	20
Inventario final	33	Inventario final	36	Inventario final	41
Inventario CB	16	Inventario CB	0	Inventario CB	20
Inventario no CB	17	Inventario no CB	36	Inventario no CB	21

Fuente: Elaboración propia.

Cómo se puede observar, la variabilidad ha disminuido, aunque sigue siendo superior a la de la simulación 2 (LSS), y el rendimiento ha aumentado de manera considerable. A su vez, el inventario es realmente bajo, en especial en las máquinas no Cuellos de Botella. Aunque el una de las simulaciones (la de en medio de la tabla superior) el inventario en el Cuello de Botella es cero, algo que habría que mejorar y que hace que el inventario en los no Cuello de Botella aumente.

La **simulación 5** expresa los resultados obtenidos tras **aplicar TOC y LSS en una misma línea**. Se reduce la variabilidad de todo el proceso, pero sigue habiendo un Cuello de Botella.

Tabla 25. Resumen simulación 5

Simulación 20 rondas	TOC + LSS (6)	Simulación 20 rondas	TOC + LSS (6)	Simulación 20 rondas	TOC + LSS (6)
Promedio piezas	128	Promedio piezas	128	Promedio piezas	128
Promedio mínimo	20	Promedio mínimo	20	Promedio mínimo	20
Promedio máximo	120	Promedio máximo	120	Promedio máximo	120
Rendimiento ideal	107%	Rendimiento ideal	107%	Rendimiento ideal	107%
Inventario inicial	20	Inventario inicial	20	Inventario inicial	20
Inventario final	120	Inventario final	121	Inventario final	108
Inventario CB	104	Inventario CB	105	Inventario CB	102
Inventario no CB	16	Inventario no CB	16	Inventario no CB	6

Fuente: Elaboración propia.

Además de las ventajas que se han dicho al realizar la primera simulación (disminución de inventarios en las máquinas no Cuello de Botella, aumento de rendimiento), se analiza con claridad que el rendimiento no varía en absoluto. Es una situación ideal y que requiere de un esfuerzo mayor que el de aplicar solo LSS en toda la planta como en la simulación 2.

Sin embargo, el inventario en el Cuello de Botella es demasiado alto, esto puede arreglarse con **aumentando la capacidad del Cuello de Botella**, en la simulación 5 su capacidad de procesamiento es de 6, en la **simulación 6** será de 10.

Tabla 26. Resumen simulación 6

Simulación 20 rondas	TOC + LSS (10)	Simulación 20 rondas	TOC + LSS (10)	Simulación 20 rondas	TOC + LSS (10)
Promedio piezas	208	Promedio piezas	208	Promedio piezas	208
Promedio mínimo	20	Promedio mínimo	20	Promedio mínimo	20
Promedio máximo	120	Promedio máximo	120	Promedio máximo	120
Rendimiento ideal	173%	Rendimiento ideal	173%	Rendimiento ideal	173%
Inventario inicial	20	Inventario inicial	20	Inventario inicial	20
Inventario final	24	Inventario final	31	Inventario final	30
Inventario CB	22	Inventario CB	16	Inventario CB	23
Inventario no CB	2	Inventario no CB	15	Inventario no CB	7

Fuente: Elaboración propia.

Esta opción tiene muchas ventajas y el coste de llevarla a cabo no debe de ser elevado. Aumenta el rendimiento, disminuye el inventario (sobre todo el del Cuello de Botella), y, además, la variabilidad se mantiene intacta.

Pero ya se ha dicho que TOC es un proceso de mejora continua, y si la demanda crece obligará a aumentar aún más la capacidad del Cuello de Botella para producir más. Presentando la situación de la siguiente tabla. Finalmente, el inventario del Cuello de Botella es cero, eso quiere decir que ha dejado de ser la restricción del sistema. Al no tener una restricción controlada, la variabilidad en el rendimiento vuelve a existir. A partir de aquí habrá que buscar la nueva y volver a hacer este mismo procedimiento.

Tabla 27. Resumen simulación 6.2

Simulación 20 rondas	TOC + LSS (14)	Simulación 20 rondas	TOC + LSS (14)	Simulación 20 rondas	TOC + LSS (14)
Promedio piezas	221	Promedio piezas	217	Promedio piezas	222
Promedio mínimo	20	Promedio mínimo	20	Promedio mínimo	20
Promedio máximo	120	Promedio máximo	120	Promedio máximo	120
Rendimiento ideal	184%	Rendimiento ideal	181%	Rendimiento ideal	185%
Inventario inicial	20	Inventario inicial	20	Inventario inicial	20
Inventario final	21	Inventario final	21	Inventario final	22
Inventario CB	0	Inventario CB	0	Inventario CB	0
Inventario no CB	21	Inventario no CB	21	Inventario no CB	22

Fuente: Elaboración propia.

Conclusión:

Al final se trata de jugar con la capacidad del cuello de botella, que será el que marque el ritmo de la fabricación y el que aumente o disminuya el rendimiento de la planta en general, que no la productividad. De nada sirve tener una planta 100% productiva, con todas las máquinas y todos los empleados trabajando al 100%, solo haría aumentar los inventarios enormemente y disminuir el rendimiento, ya que el cuello de botella no sería capaz de absorber esta cantidad de piezas.

¿Es realista aplicar LSS a toda la planta? En caso de que la empresa desee y pueda realizar tal inversión, se podría intentar llevar a cabo. Requiere un adiestramiento de la plantilla impecable, maquinaria de última tecnología para evitar retrasos o fallos, proveedores 100% fiables, etc... Cuando cada estación del proceso se carga de manera que ocupe casi el 100% de su capacidad, existen riesgos reales de que por cualquier problema conlleve a retrasos y a la creación de cuellos de botella temporales. Por muy buena formación que tengan todos los empleados, cualquier persona puede tener un mal día y cometer algún fallo. El caso es que, si se están haciendo cambios constantemente en función de los cuellos de botella temporales, los trabajadores no sabrán a qué atenerse. La realidad es que es más fácil actuar de acuerdo con los principios Lean con un sistema limitado que con una línea equilibrada. De esta manera, protegiendo la limitación, en caso de que cualquiera de las otras máquinas o de los trabajadores que trabajen en ella tengan algún fallo, no afectará al rendimiento.

Tras hacer decenas de simulaciones, la variación en el rendimiento con la metodología Lean y LSS, es muy superior a la aplicada con TOC. Esto corrobora lo expuesto en el párrafo anterior, ya que al ser una línea equilibrada depende mucho de otros factores que no sea el cuello de botella.

9 CONCLUSIONES

Tras realizar este proyecto, podemos sacar varias conclusiones destacables, empezando por la importancia de las operaciones en el conjunto de una organización, ya sea de servicios o de producción. El uso efectivo de las operaciones son un componente clave para implementar la estrategia de una empresa y lograr el éxito a largo plazo. La integración adecuada de estrategias operativas y empresariales ayuda a asegurar que la empresa esté bien posicionada para enfrentar desafíos, aprovechar oportunidades y mantener una ventaja competitiva en el mercado.

Hemos estudiado los tipos de producción, y con ello algunas de las metodologías más famosas llevadas a cabo en la actualidad para la optimización de las operaciones, destacando Lean Six Sigma (LSS) y la Teoría de las Restricciones (TOC). El debate entre cuál de las dos es mejor puede ser eterno. Existen organizaciones que han tenido éxito aplicando estas metodologías, así como grandes fracasos que han provocado la pérdida constante de dinero, ya sea porque no era la metodología adecuada a la situación o porque no se ha aplicado correctamente. Como muestra de que ambas técnicas pueden ser exitosas, se han estudiado casos reales o muy cercanos a la realidad. En el caso Mister Bocadillo hemos visto como con imaginación y control de la situación, usando correctamente TOC y los Cuellos de Botella, se puede incrementar el rendimiento de un proceso considerablemente. De la misma manera, con el caso Venta González se observa la importancia de llevar a cabo un correcto Lean en un negocio de este tipo, que finalmente ha permitido eliminación de desperdicios, y con ello la ruptura de colas de espera para los clientes, así como una mayor efectividad de sus trabajadores.

Al profundizar sobre la Teoría de las Restricciones, se ha detallado sobre la importancia de los Cuellos de Botella, que pueden representar desafíos, pero también ofrecen oportunidades para la mejora y la optimización de las operaciones. Al abordar estos puntos críticos, las empresas pueden fortalecer su posición competitiva y garantizar una mayor eficiencia en sus procesos.

Por último, se ha simulado el procesamiento de piezas a través de una línea de fabricación de seis máquinas. Se ha analizado con detalle que pasaría al aplicarle TOC y LSS, pero también que pasaría si se mezclan ambas, dando lugar a resultados formidables. La conclusión que se saca de este capítulo resume perfectamente el proyecto. LSS puede ser más perfecta, ideal, busca la perfección, pero es complicada y requiere de una inversión para llevarse a cabo. Mientras que TOC es un proceso de mejora continua, en búsqueda de los Cuellos de Botella, sin evitar la variabilidad, la cual existirá siempre en un mundo real, también, es flexible, rápida y barata.

Como **conclusión final**, se puede observar que, a partir de los principios de la Teoría de las Restricciones, se puede crear un sistema estable con rapidez, que luego Lean y Six Sigma podría mejorar, pero con una perspectiva derivada de la limitación del sistema.

Con esta perspectiva, se crea un contexto más significativo para decidir qué aspectos a mejorar son más importantes. De este modo, Lean y Six Sigma se podrían concentrar en lo que pudiera generar los mejores resultados del sistema. Ya no se trata de eliminar los desperdicios por el simple hecho de eliminarlos. Ya no se trata de localizar los “mayores” desperdicios, porque sin el concepto de una **limitación del sistema o cuello de botella** y la medida del rendimiento como capacidad para generar dinero, sería imposible saber cuáles eran los desperdicios más importantes. Se trata de fijarse en la limitación del sistema y en lo que afecta a su productividad, que determina el rendimiento, y por lo tanto el beneficio de la compañía, y de tomar las decisiones de LSS

basándose en lo que podría generar los mejores resultados.

No existe una metodología perfecta que se deba de aplicar a todos los negocios. Un buen director de operaciones se adapta al entorno y necesidades que esta requiera, y en función de estas necesidades ordena una metodología u otra. El mundo está en constante desarrollo, cada día surgen nuevos retos derivados de las nuevas tecnologías, que provocan nuevos cuellos de botella, por lo que es imprescindible no ser reacios a los cambios con la típica frase “siempre hemos funcionado así y nos ha ido bien”, que sentencia tantas organizaciones.

REFERENCIAS

- [1] Andrada, A. M. (9 de septiembre de 2021). *Tipos de procesos productivos*. Obtenido de <https://unade.edu.mx/tipos-de-procesos-productivos/>
- [2] Ceupe. (14 de enero de 2019). *Tipos de despilfarro*. Obtenido de <https://www.ceupe.com/blog/tipos-de-despilfarro.html>
- [3] Estruch, I. (23 de Noviembre de 2018). *¿Cuál es la importancia de la estrategia de operaciones en la empresa?* Obtenido de <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/cual-es-la-importancia-de-la-estrategia-de-operaciones-en-la-empresa/>
- [4] Flexqube. (20 de noviembre de 2018). *¿Cuáles son las principales diferencias entre Lean Manufacturing y Six Sigma?* Obtenido de <https://www.flexqube.com/es-mx/noticias/cuales-son-las-principales-diferencias-entre-lean-manufacturing-y-six-sigma/>
- [5] Golddratt. (2005). *La Meta: Un proceso de mejora continua*. North River Press.
- [6] Icasas, P. (3 de noviembre de 2023). *¿What is a PICK chart?* Obtenido de <https://birdviewpsa.com/blog/project-management-101-pick-chart>
- [7] Irustra, M. Á. (Julio de 2012). *Mister Sándwich S.L.* Obtenido de <https://www.santelmo.org/mister-sandwich-s-l/6082>
- [8] Jacob, D. (2010). *Velocity*. Alienta.
- [9] Kuuse, M. (19 de abril de 2023). *Los 10 principales KPI de producción en 2023*. Obtenido de <https://manufacturing-software-blog.mrpeasy.com/es/kpi-de-produccion/>
- [10] L.C, A. (2022). *Volver a empezar: Lean management*. Barcelona: Profit.
- [11] Laoyan, R. (2 de noviembre de 2022). *Todo lo que necesitas saber sobre Six Sigma*. Obtenido de <https://asana.com/es/resources/six-sigma>
- [12] Martins, J. (10 de octubre de 2022). *¿Qué es la metodología Kanban y cómo funciona?* Obtenido de <https://asana.com/es/resources/what-is-kanban>
- [13] Palagot, N. S. (18 de enero de 2011). *Evolución de los sistemas productivos*. Obtenido de <https://gestiopolis.com/evolucion-de-los-sistemas-productivos/>
- [14] Tool, K. (14 de septiembre de 2022). *¿Qué es Heijunka?* Obtenido de <https://kanbantool.com/es/guia-kanban/que-es-heijunka>
- [15] Yadav, Chara. (13 de julio de 2023). *JIT vs Lean: diferencia y comparación*. Obtenido de <https://askanydifference.com/es/difference-between-jit-and-lean-with-table/>