

2026

Filosofías y Metodologías Industriales: Introducción al Lean Manufacturing



Luis M. Serna Jara

18-2-2026

Índice

Capítulo 1. Introducción al Lean Manufacturing y Value Stream Mapping (VSM).....	6
1.1 Introducción, definición y orígenes	7
1.2 Objetivos de la producción ajustada	8
1.3 Pilares del Lean Manufacturing.....	9
1.3.1 Primer pilar: Kaizen (Mejora Continua).....	10
1.3.2 Segundo pilar: Control Total de la Calidad	11
1.3.3 Tercer pilar: Just in time (JIT)	12
1.3.4 El despilfarro	16
1.4 Value Stream Mapping (VSM) y la simbología del Proceso.....	18
1.4.1 El concepto de situación actual.....	18
1.4.2 Consideraciones críticas para su elaboración	19
1.4.3 Simbología Técnica del VSM	20
1.5 Bibliografía	22
Capítulo 2. Herramientas Lean I: 5S y SMED.....	23
2.1. Introducción.....	24
2.2. La metodología de las 5S.....	25
2.3. Orígenes y definición.....	26
2.4. Objetivos de las 5S	26
2.5. Fases de las 5S.....	27
2.5.1. Fase 1: Seiri (Organización)	27
2.5.2. Fase 2: Seiton (Orden)	29
2.5.3. Fase 3: Seiso (Limpieza e Inspección).....	32
2.5.4. Fase 4: Seiketsu (Estandarización).....	33
2.5.5. Fase 5: Shitsuke (Disciplina)	35
2.5.6. Resumen 5S.....	37
2.6. Metodología SMED	39

2.6.1.	Definiciones y objetivos de SMED	40
2.6.2.	Un poco de historia: De los años 50 a la revolución de Toyota.....	40
2.6.3.	¿Qué significa realmente "Single Minute"?.....	41
2.6.4.	Las tres ideas fuerza del SMED	41
2.6.5.	¿De qué hablamos cuando hablamos de "Tiempo de Cambio"?	42
2.6.6.	La trampa del pensamiento tradicional: El peligro de los lotes grandes.....	42
2.6.7.	Metodología de Implantación SMED.....	44
2.7.	Bibliografía.....	46
Capítulo 3. Herramientas Lean II: Heijunka		47
3.1.	Definición.....	48
3.2.	Orígenes de la técnica Heijunka.....	48
3.3.	Objetivos de la técnica Heijunka	49
3.3.1.	Mejorar la respuesta frente al cliente	50
3.3.2.	Estabilización de la plantilla y los medios.....	50
3.3.3.	Minimización de inventarios y despilfarros.....	50
3.3.4.	Visibilidad y control de anomalías.....	50
3.4.	Las 4 técnicas fundamentales de Heijunka	50
3.4.1.	Usar Células de Trabajo.....	51
3.4.2.	Flujo Continuo Pieza a Pieza.....	52
3.4.3.	La Base del Pensamiento	53
3.4.4.	¿Cómo Saber si NO Tenemos Flujo Continuo?.....	54
3.5.	Producir respecto al Takt Time	56
3.5.1.	Takt Time (TT)	56
3.5.2.	Tiempo de paso (Pitch).....	58
3.5.3.	Las Pérdidas por Balanceo: El Coste de la Desincronización.....	59
3.5.4.	Stocks Buffers y de Seguridad.....	60
3.6.	Nivelar Stocks Buffers y de Seguridad.....	61
3.7.	Resumen.....	63
3.8.	Bibliografía.....	64

Capítulo 4. Herramientas Lean III: Kanban	65
4.1. Introducción.....	66
4.2. Definición.....	67
4.3. Objetivos	67
4.4. Tipos de tarjeta en Kanban.....	68
4.5. La Infraestructura Física: Contenedores y Casilleros	69
4.6. Funcionamiento sistema Kanban	70
4.7. Ejemplo práctico: El sistema de los "Cuadrados en el Suelo"	71
4.7.1. El Cálculo Técnico: ¿Cuántos Kanbans necesitamos?	72
4.7.2. ¿Qué pasa si los operarios están parados?.....	72
4.7.3. ¿Cómo calcular el número de Kanbans?	74
4.7.4. ¿Cuántas tarjetas necesitamos? El cálculo del flujo	77
4.8. Cálculo del Kanban de Transporte: La Logística del "Justo a Tiempo"	78
4.9. Consecuencias del sistema Pull mediante Kanban	80
4.10. Suministro y recogida mediante Cinta Transportadora (Flujo Continuo).....	80
4.11. Nivelación de la Producción: El "Contrato" Logística-Producción.....	81
4.12. Entregas Frecuentes: Extendiendo el Pull a los Proveedores.....	82
4.13. Relación con los Proveedores: De simples vendedores a Socios Estratégicos...84	
4.14. Resumen.....	86
4.15. Bibliografía.....	87
Capítulo 5. Herramientas Lean: TPM y JIDOKA	88
5.1. Definición y origen de TPM.....	90
5.1.1. Desglosando el concepto	90
5.1.2. Origen del TPM	90
5.1.3. El primer contacto: Limpieza e inspección.....	91
5.2. Objetivos de TPM.....	91
5.3. Tipos de mantenimiento industrial	92
5.3.1. Clasificación y enfoque operativo	92
5.3.2. Mantenimiento Planificado	94

5.3.3.	Mantenimiento preventivo.....	94
5.3.4.	Mantenimiento predictivo.....	94
5.4.	¿Por qué implantar TPM?.....	95
5.4.1.	Las fuerzas del cambio.....	95
5.4.2.	El enemigo identificado: Las Seis Grandes Pérdidas.....	96
5.4.3.	Consecuencias de implantar TPM en la industria.....	97
5.4.4.	Las bases de la metamorfosis industrial.....	98
5.5.	Pasos para la implantación del TPM: El camino a la maestría.....	98
5.5.1.	El ambiente previo: Las 3Y del éxito.....	98
5.5.2.	Los dos pilares del método práctico.....	98
5.5.3.	El Ciclo de Mejora: PDCA.....	100
5.6.	Caso Práctico: Línea de Inyección de Polímeros.....	100
5.7.	Herramienta Lean: JIDOKA.....	103
5.7.1.	Definición y orígenes de JIDOKA.....	103
5.7.2.	Objetivos de JIDOKA.....	104
5.7.3.	JIDOKA: profundización técnica y filosófica.....	105
5.8.	Bibliografía.....	113
Capítulo 6: Aplicación Lean: 5S, Heijunka y Kanban.....		115
6.1.	Introducción.....	117
6.2.	Aplicación de las 5S. Caso de estudio.....	117
6.3.	Objetivos.....	121
6.4.	Desarrollo de la implantación (las 5 etapas).....	121
6.4.1.	SEIRI (Separar / Eliminar lo innecesario).....	121
6.4.2.	SEITON (Ordenar / Un lugar para cada cosa).....	121
6.4.3.	SEISO (Limpiar e Inspeccionar).....	122
6.4.4.	SEIKETSU (Estandarizar / Crear normas).....	122
6.4.5.	SHITSUKE (Disciplina / Mantener el hábito).....	122
6.5.	Análisis de resultados y medición del éxito (KPIs).....	123
6.5.1.	Resultados productividad y tiempos operativos (<i>Efecto combinado de 5S y principios SMED</i>).....	125

6.5.2.	Optimización del espacio productivo (<i>Efecto Seiri y Seiton</i>).....	126
6.5.3.	Seguridad y salud laboral (<i>Efecto Seiketsu y control visual</i>).....	126
6.5.4.	Calidad y seguridad alimentaria (<i>Efecto Seiso</i>).....	127
6.6.	Aplicación de Heijunka. Caso de estudio	128
6.6.1.	Estado inicial.....	128
6.6.2.	Resolución Lean (Heijunka).....	129
6.6.3.	Diseño de la secuencia nivelada.....	129
6.6.4.	Mejoras de resultados objetivas (KPIs).....	130
6.7.	Aplicación de Kanban. Caso de estudio.....	131
6.7.1.	Antecedentes previas a aplicación Kanban	131
6.7.2.	Los Síntomas del Problema (Análisis de Evidencias).....	131
6.7.3.	El "Contrato" entre Logística y Producción.....	131
6.8.	Diseño e infraestructura del sistema Kanban.....	131
6.8.1.	Ubicación del "Supermercado"	132
6.8.2.	Tipos de dispositivos Kanban a utilizar.....	132
6.8.3.	El Flujo de Información	133
6.8.4.	Cálculo técnico: ¿cuántos Kanbans necesitamos?.....	135
6.8.5.	Resultados objetivos y análisis de impacto (KPIs).....	135
6.9.	Bibliografía.....	139
Capítulo 7. Aplicación Lean: SMED y TPM.....		140
7.1.	Introducción.....	141
7.2.	Aplicación de SMED (Single Minute Exchange of Die). Caso de estudio	141
7.2.1.	Descripción del proceso y de la estación objeto de estudio	141
7.3.	Diagnóstico Inicial y Diagrama de Espaguetti (Situación "ANTES").....	144
7.4.	Separación de actividades internas (INT) y externas (EXT)	146
7.4.1.	Definición de Conceptos.....	146
7.4.2.	Inventario Técnico de Tareas (Análisis del Estado Actual).....	146
7.4.3.	Conversión de actividades internas en externas	149
7.5.	Perfeccionamiento de las tareas internas (estado final)	151

7.5.1.	Técnicas de ingeniería aplicadas al caso de estudio.....	151
7.6.	Aplicación TPM (Total Productive Maintenance). Caso de estudio.....	155
7.6.1.	Diagnóstico de "Las Seis Grandes Pérdidas"	155
7.6.2.	El Workshop de TPM: Paso 1, Limpieza e Inspección (Seiso).....	156
7.6.3.	Paso 2: Mantenimiento Planificado.....	157
7.7.	Bibliografía.....	159

Capítulo 1. Introducción al Lean Manufacturing y Value Stream Mapping (VSM)

1.1	Introducción, definición y orígenes	7
1.2	Objetivos de la producción ajustada.....	8
1.3	Pilares del Lean Manufacturing.....	9
1.3.1	Primer pilar: Kaizen (Mejora Continua).....	10
1.3.2	Segundo pilar: Control Total de la Calidad	11
1.3.3	Tercer pilar: Just in time (JIT).....	12
1.3.4	El despilfarro	16
1.4	Value Stream Mapping (VSM) y la simbología del Proceso.....	18
1.4.1	El concepto de situación actual.....	18
1.4.2	Consideraciones críticas para su elaboración.....	19
1.4.3	Simbología Técnica del VSM	20
1.5	Bibliografía	22

1.1 Introducción, definición y orígenes

Si buscamos una definición académica, como la que nos proponen Hernández Matías y Vizán Idoipe (2013), diríamos que es la persecución de una mejora del sistema mediante la eliminación sistemática del desperdicio. Pero para nosotros, en el día a día de la fábrica, Lean significa fabricar solo lo que se necesita, cuando se necesita y con la calidad perfecta, utilizando el mínimo de recursos posible.

Si nos ponemos técnicos, lo definimos como la persecución de una mejora simultánea en todas las métricas de fabricación mediante la **eliminación sistemática del despilfarro**. Pero, entre nosotros, es mucho más sencillo: es la filosofía de hacer más con menos. Menos esfuerzo humano, menos equipamiento, menos tiempo y menos espacio, pero, y aquí está el truco, acercándonos cada vez más a entregarle al cliente exactamente lo que quiere.

Figura 1

Herramientas Lean Manufacturing



Nota. M. Rajadell Carreras y J.L. Sánchez García, Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad, 2010

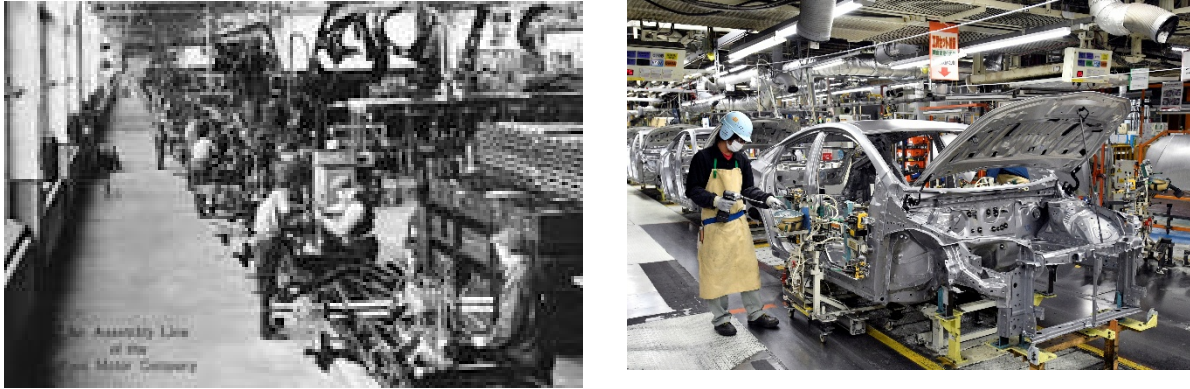
Para entender qué es el Lean Manufacturing (o "producción ajustada", como solemos decir en castellano), primero debemos mirar hacia atrás. Imaginad el mundo en la primera mitad del siglo XX. El rey absoluto era el Fordismo, ese modelo de producción en masa donde se fabricaban miles de productos idénticos para aprovechar las economías de escala. Era la época de "puedes tener el coche del color que quieras, siempre que sea negro". Sin duda, este sistema, perfeccionado con las técnicas de Frederick Taylor, buscaba la máxima eficiencia eliminando la "ociosidad" del trabajador a través de tareas ultra especializadas y repetitivas. Sin embargo, este modelo tenía un "talón de Aquiles": era terriblemente rígido y generaba montañas de inventario (stock) que alargaban los ciclos de producción durante semanas.

A principios del siglo XX, Henry Ford cambió el mundo con la producción en masa. Fue un hito, de eso no hay duda. Logró que el coche dejara de ser un juguete para ricos y fuera una herramienta para todos. Sin embargo, su sistema tenía una debilidad que hoy nos parece una locura: era un sistema **Push** (empujar). Se fabricaba según previsiones, a toda máquina, "empujando" el producto hacia el mercado. Si el mercado no quería coches negros ese mes, daba igual; la fábrica seguía escupiendo coches negros que se acumulaban en campos inmensas.

Y es que, tras la Segunda Guerra Mundial, Japón se encontraba en una situación desesperada. No tenían capital, no tenían espacio para grandes almacenes y su mercado pedía variedad, no miles de productos iguales. Fue entonces cuando Taiichi Ohno y Eiji Toyoda miraron a su alrededor y se dieron cuenta de que no podían copiar a Ford.

Figura 2

Línea de producción de Ford en Highland_Park(izq) y línea de producción de Toyota (Dcha.)



Nota. Historia de corporación Ford (izq.) y a la dcha. planta de Toyota en Tsutsumi

Cuenta la leyenda que la inspiración definitiva no vino de otra fábrica, sino de un supermercado americano. Ohno observó cómo los estantes solo se reponían cuando el cliente cogía un producto. Esa idea tan simple, que el consumo sea el que mande sobre la producción, fue la semilla de lo que hoy estudiamos como el Sistema de Producción Toyota (TPS), así nació el sistema "Pull" (tirar).

1.2 Objetivos de la producción ajustada

La implementación del Lean Manufacturing no es un fin en sí mismo, sino un medio para alcanzar la excelencia competitiva. Como bien señalan Hernández-Matías y Vizán Idoipe (2013), surge cuando el modelo tradicional de producción en masa deja de ser rentable ante mercados que exigen variedad, rapidez y calidad sin sobrecostes. Podemos desglosar los objetivos primordiales en cuatro grandes ejes estratégicos:

- **La Persecución de la Eficiencia mediante la Eliminación del "Muda"**

El objetivo "mantra" del Lean es la identificación y eliminación de todo aquello que consume recursos pero no aporta valor desde la perspectiva del cliente. No se trata solo de reducir costes, sino de limpiar el proceso de "grasa" operativa. Y es que, si un material está parado esperando a ser procesado, ese tiempo es un objetivo de guerra para nosotros.

- **Mejora de la Calidad (Cero Defectos)**

En Lean, el objetivo es que la calidad sea intrínseca al proceso. No buscamos inspectores al final de la línea que separen lo bueno de lo malo (eso es tirar dinero). El objetivo es alcanzar el "Cero Defectos" mediante técnicas como el *Jidoka*, asegurando que ningún producto defectuoso pase a la siguiente fase.

- **Reducción drástica del Lead Time**

El *Lead Time* es el tiempo total que transcurre desde que un cliente hace un pedido hasta que este se entrega. El objetivo del Lean es comprimir este tiempo al máximo. Al eliminar esperas, transportes y sobreproducciones, el flujo se vuelve rápido y ágil. Esto nos permite cobrar antes y, además, liberar un capital circulante que antes estaba "atrapado" en forma de inventario.

- **Incremento de la Flexibilidad**

Hoy en día, el entorno social y económico es volátil. Un objetivo crítico es ser capaces de fabricar lotes pequeños de productos diferentes sin que los costes se disparen, el Just In Time permite que la empresa se adapte a la demanda real (sistema *Pull*) en lugar de trabajar contra previsiones inciertas que llenan los almacenes de productos que quizá nadie compre.

Todos estos objetivos están interconectados. Si reducimos el inventario (objetivo C), los problemas de calidad (objetivo B) salen a la superficie inmediatamente porque ya no hay 'colchón' que los esconda. Es una reacción en cadena hacia la perfección. La verdad es que aplicar Lean es como quitarle los ruedines a una bicicleta, al principio da vértigo porque el sistema está ajustado, pero es la única forma de correr de verdad.

De esta forma, podemos decir, que su objetivo primordial y/o general es la persecución de la mejora del sistema mediante la eliminación del desperdicio. Pero vamos a profundizar un poco más en lo que buscamos como ingenieros:

- **Eliminar el despilfarro (Muda):** Queremos quitar del medio cualquier acción que no aporte valor y por la cual el cliente, lógicamente, no quiera pagar.
- **Poner al cliente en el centro:** Fabricar exactamente lo que el cliente demanda, en la cantidad justa y en el momento preciso.
- **Crear un flujo continuo:** Reducir al mínimo los materiales, el espacio y el tiempo necesarios.
- **Mejorar la competitividad y reducir costes:** Al evitar procesos innecesarios, nuestros precios se vuelven más atractivos sin sacrificar el margen.
- **Flexibilidad absoluta:** Ser capaces de reaccionar rápido ante los cambios del mercado, algo que los sistemas tradicionales simplemente no podían hacer.

La verdad es que alcanzar estos objetivos es una carrera de fondo. Como solemos decir en clase, el ideal es inalcanzable, pero debemos perseguirlo con persistencia para acercarnos cada vez más a la perfección operativa.

1.3 Pilares del Lean Manufacturing

Para que una organización sea realmente "Lean", no basta con aplicar herramientas sueltas. Necesitamos una estructura sólida. Los autores, Hernández Matías y Vizán Idoipe (2013), proponen un modelo donde la empresa es como una casa: si los pilares fallan, el techo (la excelencia) se nos viene abajo. Los tres pilares fundamentales en los que se fundamenta la metodología Lean, se desglosan a continuación, desarrollando en sucesivas unidades didácticas, cada uno de ellas.

Figura 1

Daigramma Lean Manufacturing



Nota. M. Rajadell Carreras y J.L. Sánchez García, Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad, 2010

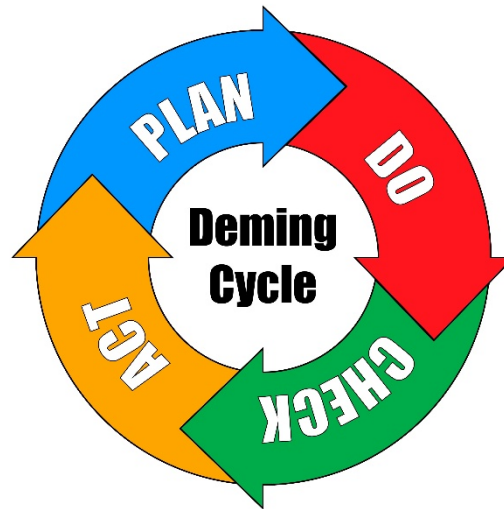
1.3.1 Primer pilar: Kaizen (Mejora Continua)

La palabra **Kaizen** es casi un mantra. Proviene de *Kai* (cambio) y *Zen* (bueno). Pero, y es que aquí está el matiz importante, los apuntes de la UPM diferencian entre el *Kairyō* (grandes saltos tecnológicos muy caros) y el *Kaizen* (mejoras pequeñas, constantes y de bajo coste).

- **La clave humana:** El Kaizen asume que nadie conoce mejor un puesto de trabajo que el operario que está allí ocho horas al día. Como profesor, siempre les digo a mis alumnos: "Si quieres mejorar una línea de montaje, no te quedes en tu despacho mirando el CAD; baja al taller y habla con la gente".
- **Ciclo PDCA:** Se basa en el ciclo de Deming (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar). Es un proceso que no termina nunca. Cuando alcanzamos un estándar, ese estándar se convierte en el nuevo punto de partida para la siguiente mejora.

Figura 3

Ciclo Planificar, Hacer, Verificar, Actuar



Nota. Elaboración propia

1.3.2 Segundo pilar: Control Total de la Calidad

En el modelo de producción en masa, la calidad se entendía como "inspección". Se fabricaba mucho y, al final de la línea, alguien decía qué piezas eran buenas y cuáles eran basura. La verdad es que esto es un desastre financiero: has gastado material, energía y tiempo en algo que vas a tirar.

El Lean Manufacturing le da la vuelta a la tortilla. Como bien señalan Hernández Matías y Vizán Idoipe (2013), la calidad debe estar "embebida" en el proceso. No se inspecciona la calidad, se fabrica la calidad.

Jidoka (Autonomatización con toque humano)

Este concepto es el alma del pilar. Proviene de los telares de Sakichi Toyoda, que se detenían automáticamente si un hilo se rompía.

- ¿En qué consiste? Es dotar a las máquinas y a los operarios de la capacidad de detectar una anomalía (una pieza defectuosa, un mal funcionamiento) y detener inmediatamente la línea.
- El factor humano: No es solo una máquina parando; es el operario teniendo la autoridad de pulsar el botón de emergencia. Esto, en la cultura industrial antigua, era impensable. En Lean, es obligatorio. Preferimos perder 10 minutos buscando la causa raíz que estar 8 horas produciendo errores en cadena.

Poka-Yoke (A prueba de errores)

Shigeo Shingo, otro de los genios del sistema Toyota, introdujo estos mecanismos. La idea es simple: somos humanos y nos equivocamos por cansancio o distracción. Por tanto, hay que diseñar el proceso para que el error sea **imposible**.

- **Ejemplos en ingeniería:** Un molde que solo permite encajar la pieza en la posición correcta, o un sensor que no permite que la máquina avance si el operario no ha apretado los cuatro tornillos correspondientes.
- **La filosofía:** No buscamos culpables ("el operario se despistó"), buscamos soluciones en el diseño ("el proceso permitió que el operario se despistara, vamos a corregirlo").

Control en la Fuente y Andon

Y es que, para que el control total funcione, necesitamos información en tiempo real.

- **Control en la fuente:** Cada trabajador es su propio cliente y su propio proveedor. "No recibo defectos, no cometo defectos, no entrego defectos".
- **Sistema Andon:** Es la herramienta de gestión visual por excelencia. Son esas luces de colores que veis en la parte superior de las líneas de montaje.
 - **Verde:** Todo normal, el flujo sigue.
 - **Naranja:** El operario necesita ayuda, pero la línea sigue.
 - **Rojo:** ¡Alerta! La línea se ha detenido por un problema de calidad.

1.3.3 Tercer pilar: Just in time (JIT)

El concepto de *Justo a Tiempo* es mucho más que una técnica de inventario; es una filosofía de excelencia operacional. La idea de fondo es casi poética: producir los elementos necesarios, en las cantidades necesarias y en el momento necesario.

El JIT busca que el flujo de materiales sea tan suave que el stock se reduzca a lo mínimo indispensable, eliminando así los costes de almacenamiento y obsolescencia.

1.3.3.1 Definición y orígenes del JIT (contra stock, contra pedido)

El JIT nació de la escasez, en el Japón de la posguerra, no había espacio ni dinero para grandes almacenes.

- **Fabricación contra Stock (Push/Empujar):** Es el modelo tradicional (Fordista). Se basa en previsiones de demanda (forecasts). Fabricas hoy lo que crees que venderás dentro de un mes.
 - *El problema:* Si te equivocas, tienes dinero muerto en la estantería. Además, el stock actúa como "agua que cubre las rocas"; si tienes mucho stock, no ves los fallos de calidad ni las ineficiencias del proceso.
- **Fabricación contra Pedido (Pull/Tirar):** Es la esencia del JIT. No se fabrica nada hasta que no hay una señal real de consumo. Como dicen los apuntes de la **UPM**, el objetivo es que la producción sea una respuesta directa a la demanda del mercado, reduciendo el riesgo financiero y aumentando la frescura del producto.

Para entender el JIT a nivel de ingeniería, no basta con decir que es "producir lo justo". Debemos analizar la viabilidad técnica de la producción a través de dos variables críticas:

1. **Plazo de Entrega (PE):** Es el tiempo que el cliente está dispuesto a esperar desde que lanza el pedido hasta que lo recibe. Es una variable del mercado.
2. **Tiempo de Flujo (TF):** Esta es la variable que nos quita el sueño como directores de producción. Es el tiempo que transcurre desde que lanzamos la orden a la fábrica hasta que el producto está listo para ser expedido. Ojo: aquí no contamos ni el tiempo de aprovisionamiento de materia prima ni la distribución final; hablamos puramente de la velocidad de nuestra planta.

Si $TF < PE$ (Producción contra pedido): La verdad es que esta es la situación ideal del Lean. Si el tiempo que tardas en fabricar es menor que lo que el cliente acepta esperar, puedes trabajar **contra pedido**. Pensad en un café, un cliente acepta esperar 3 o 4 minutos (**PE**), y tú tardas 30 segundos en hacerlo (**TF**). Por tanto, no tienes tazas de café acumuladas; las haces cuando entra el cliente. Solo en algunos bares de facultades de ingeniería, donde la demanda es masiva y el tiempo de espera supera la paciencia del alumno, se ven cafés ya hechos (stock).

Si $TF > PE$ (Producción contra stock): Si tu fábrica es lenta y el cliente quiere el producto "ya", no tienes otra opción: la fabricación debe empezar antes de que llegue el pedido. Aquí es donde nos vemos obligados a trabajar **contra stock** y mantener existencias.

Como bien indica M. Rajadell Carreras y J.L. Sánchez García (2010), nuestro trabajo es aplicar herramientas como el SMED, la mejora de métodos y la eliminación de colas para **reducir el Tiempo de Flujo**. Si logramos que el TF sea menor que el PE, habremos ganado la batalla al stock y podremos transformar una fábrica rígida en una maquinaria JIT perfecta.

1.3.3.2 Sistema Push y sistema Pull

Aquí es donde la Ingeniería de Organización se vuelve fascinante. La diferencia entre "empujar" y "tirar" cambia por completo la logística de la planta.

- **Sistema Push (Empujar):** Las órdenes de trabajo se lanzan desde una oficina central según un programa maestro. Cada máquina procesa sus piezas y las pasa a la siguiente. ¿Y si la siguiente máquina está parada? No importa, el sistema sigue "empujando" piezas, creando montañas de material en curso (WIP, Work In Progress). Esto genera caos y dificulta enormemente la gestión visual.
- **Sistema Pull (Tirar):** Es el proceso "aguas abajo" el que autoriza la producción del proceso "aguas arriba". Imaginad una fila de fichas de dominó: en el Push, empujas la primera; en el Pull, es la última la que, al moverse, deja espacio para que la anterior se desplace.
 - **La herramienta clave: El Kanban.** Hernández Matías y Vizán Idoipe (2013) describen el Kanban como el sistema de información que permite el control de la producción JIT. Es una tarjeta (o señal digital) que acompaña a un lote de piezas. Cuando el cliente consume el lote, devuelve la tarjeta al proveedor: esa es la orden de fabricación. Sin tarjeta, nadie se mueve.

1.3.3.3 Integración MRP-JIT (Sistemas Híbridos)

Tradicionalmente, se ha presentado al **MRP** (*Material Requirement Planning*) y al **JIT** (*Just In Time*) como enemigos naturales. El MRP se basa en la "anticipación" (Push), mientras que el JIT se basa en la "reacción" (Pull). Sin embargo, la ingeniería moderna ha demostrado que lo más eficiente es la **coexistencia**. Las empresas que no reúnen las condiciones perfectas para un JIT puro han logrado resultados excelentes mediante el sistema híbrido.

- **La Sinergia:** La verdad es que cada sistema tiene una "superpotencia" que el otro necesita, ¿qué aporta el MRP al JIT? (Planificación Estratégica):
 - **Visión a largo plazo:** El JIT es ciego al futuro lejano (solo ve lo que el Kanban pide hoy). El MRP permite calcular la capacidad necesaria de los centros de trabajo para los próximos meses.
 - **Gestión de Compras:** Para negociar con proveedores globales o comprar materias primas con largos plazos de entrega, el MRP es imbatible.
 - **Contabilidad Integrada:** El MRP permite tener un control financiero y de costes on-line que el sistema de tarjetas físicas no ofrece por sí solo.
- **¿Qué aporta el JIT al MRP? (Ejecución en Planta)**
 - **Simplificación:** En lugar de gestionar miles de órdenes de trabajo complejas en el ordenador, se utilizan **células de fabricación** y **Kanban**.
 - **Agilidad:** El JIT reduce drásticamente los costes de control de producción y seguimiento de órdenes, ya que el flujo se autorregula visualmente en el taller.

El modelo híbrido suele estructurarse de la siguiente forma:

- **Nivel Superior (Planificación):** Se utiliza el **MRP** para realizar el Programa Maestro de Producción (PMP) y la explosión de materiales. Aquí decidimos *qué* vamos a necesitar comprar y *cuánta* gente necesitaremos contratar.
- **Nivel de Taller (Ejecución):** Una vez que el material está en la planta, el movimiento real entre máquinas no lo dicta el ordenador, sino el **Sistema Pull/Kanban**. El MRP "empuja" los materiales hasta la entrada de la fábrica, y el JIT "tira" de ellos a través del proceso productivo.

Los beneficios del enfoque híbrido, según (Hernández Matías & Vizán Idoipe, 2013), la integración permite:

- Reducir el error humano en la planificación.
- Mantener niveles de inventario mínimos sin riesgo de rotura de stock.
- Eliminar la burocracia innecesaria en el taller (menos papeles, más gestión visual).

Figura 4

Herramientas Lean



Nota. M. Rajadell Carreras y J.L. Sánchez García, (2010)

Imaginad una fábrica de coches. El **MRP** es el que sabe que dentro de tres meses necesitaremos 10.000 neumáticos de perfil bajo porque hay una promoción en marcha. Pero es el **JIT** (el Kanban) el que decide que, hoy a las 10:15 am, el operario debe montar un neumático concreto en el coche que tiene delante. Cruzamos los datos de los pedidos en firme y las previsiones de ventas para el próximo trimestre. El departamento comercial lanza una campaña para el "Modelo Sport". El sistema detecta que, debido a los tiempos de suministro del proveedor (Lead Time de 2 meses), debemos lanzar hoy una orden de compra de 10.000 neumáticos de perfil bajo.

Aquí el JIT no puede ayudarnos. El JIT no sabe qué pasará dentro de tres meses. El MRP nos asegura que el material estará físicamente en nuestro muelle de descarga el día que lo necesitamos. Si usáramos solo MRP (Push), el ordenador lanzaría una orden de trabajo a la línea de montaje diciendo: "Hoy a las 10:00 am, montad 200 neumáticos de perfil bajo".

Imaginad que a las 09:45 am, la máquina que instala las llantas deportivas se avería. Resultado Push, El sistema sigue enviando neumáticos de perfil bajo a la línea porque "estaba programado". Se crea un cuello de botella, los operarios se saturan de material que no pueden usar y el caos se apodera del taller. La solución híbrida (La entrada del JIT/Kanban), aquí es donde aplicamos la integración. El material ya está en la fábrica (gracias al MRP), pero su movimiento final lo dicta el Kanban (Pull). Ahora, imaginad la situación a las 10:15 am: Un operario está frente al coche número 405 en la línea de montaje. Al terminar el coche anterior, queda libre un casillero vacío (señal Kanban). Este casillero viaja hacia atrás (aguas arriba) hasta el almacén de línea, el operario del almacén ve el casillero vacío y lee la tarjeta: "Necesito 4 neumáticos de perfil bajo para el chasis 405", solo en ese momento, y no antes, el neumático se mueve al puesto de montaje.

Debemos destacar tres puntos clave de la integración MRP–JIT de este ejemplo:

- **Desacoplamiento de funciones: MRP = Estrategia y Compras.** Se encarga de que el inventario esté en el edificio. Evita que la fábrica se quede sin material a largo plazo (*Stockout*).
 - **JIT = Taller y Flujo.** Se encarga de que el material se mueva solo cuando el cliente (el siguiente proceso) lo solicita. Evita la sobreproducción y el caos en planta.
- **Gestión de Incidencias:** Si la máquina se avería (como en nuestro ejemplo), el operario no consume neumáticos. Al no consumir, no libera casilleros Kanban. Al no haber señales Kanban, el almacén **detiene el envío**. El MRP "sabe" que hay una avería porque el stock no baja, pero el JIT es el que **frena físicamente el movimiento** para evitar el despilfarro de transporte y espera.
- **Resultado Final:** La fábrica tiene la seguridad de suministro del MRP y la agilidad de respuesta del JIT. Logramos un **Tiempo de Flujo (TF)** mínimo porque el material nunca está "esperando" en colas innecesarias; está siempre moviéndose hacia el cliente.

1.3.4 El despilfarro

Como hemos visto, la esencia del Lean es la eliminación sistemática de todo aquello que no aporta valor. Pero, ¿qué es el valor? La verdad es que es muy sencillo: valor es cualquier proceso que transforma la materia prima en algo por lo que el cliente está dispuesto a pagar. Si un cliente no paga por el hecho de que una pieza esté guardada en un almacén, ese almacenamiento es, por definición, un despilfarro.

1.3.4.1 Concepto de Hoshin: La Guerra al Despilfarro

En japonés, *Hoshin* significa "brújula". No es solo una técnica, es una metodología de asalto para buscar soluciones simples y aplicables de inmediato.

- **La clave del éxito:** La implicación total. Desde el gerente hasta el operario de la última máquina.
- **Filosofía de acción:** Mente abierta, tratar las dificultades a fondo y, sobre todo, otorgar responsabilidad real a los operarios. Ellos son los generales en esta guerra.

1.3.4.2 Tipos de despilfarro

Siguiendo la doctrina de Hernández Matías y Vizán Idoipe (2013), clasificamos el despilfarro en las siguientes categorías:

1.3.4.2.1 Sobreproducción (El Desperdicio Fatal)

Es fabricar más de lo requerido o antes de tiempo. Es el peor de todos porque actúa como una "llave" que abre la puerta a los demás. Si sobreproduces, necesitas más transporte, más stock y más espacio.

- **Causas:** Miedo a las averías, cambios de máquina muy largos o responder a previsiones en lugar de a pedidos reales.

- Respuesta Lean: Implementar el flujo pieza a pieza, sistema Pull (Kanban) y nivelación de la producción (Heijunka).

1.3.4.2.2 *Tiempo de Espera (Tiempo Vacío)*

Ocurre cuando un operario espera a una máquina, o una máquina espera a un operario. Es tiempo perdido que el cliente nunca pagará.

- Causas: Desequilibrios en la línea de montaje o métodos de trabajo poco consistentes.
- Respuesta Lean: Fabricación en células en U, equilibrado de líneas y formación polivalente de los trabajadores.

1.3.4.2.3 *Transporte y Movimientos Innecesarios*

Mover material no le añade valor, solo le añade el riesgo de que se golpee o se pierda.

- Causas: Un *Layout* (diseño de planta) deficiente o lotes demasiado grandes que requieren carretillas elevadoras constantes.
- Respuesta Lean: Rediseñar la planta hacia células flexibles donde las máquinas estén lo más cerca posible.

1.3.4.2.4 *Sobreproceso (Hacer más de lo pedido)*

Poner una capa extra de pintura que el cliente no ha pedido o realizar inspecciones redundantes.

- Causas: Falta de estándares claros o desconocimiento de los requisitos del cliente.
- Respuesta Lean: Estandarización de procesos y análisis del valor de cada operación.

1.3.4.2.5 *Exceso de Inventario (Stock)*

Los doctores del JIT ven el stock como el síntoma de una gripe. El stock oculta los problemas: si tienes mucho material, no te importa que una máquina falle.

- La Metáfora del Río: Recordad el barco sobre el río. El stock es el agua; si bajamos el nivel, chocaremos con las rocas (averías, absentismo, mala calidad). El objetivo es ver las rocas para poder eliminarlas.
- Respuesta Lean: Revolución del concepto de inventario y reducción drástica de los tamaños de lote.

1.3.4.2.6 *Movimientos Innecesarios*

A diferencia del transporte (materiales), este se refiere a los **movimientos del personal**. Caminar para buscar una herramienta o agacharse repetidamente por un mal diseño del puesto (*layout*).

1.3.4.2.7 *Defectos y Errores Humanos*

Fabricar mal significa trabajar doble: primero para hacerlo mal y luego para arreglarlo.

- Causas: Herramientas inadecuadas, falta de formación o procesos poco fiables.

- Respuesta Lean: Poka-Yoke (a prueba de errores), Andon (señales visuales) y Jidoka.

1.3.4.2.8 Talento humano No Aprovechado

La verdad es que, para cerrar este apartado, debemos señalar el despilfarro más grave de todos: el desperdicio de la capacidad creativa de los empleados. Una empresa que no sabe escuchar las ideas de mejora de sus operarios es una empresa que nunca alcanzará el nivel Lean. El Lean es, por encima de todo, respeto por las personas.

Figura 5

Infografía de los 8 tipos de despilfarro del Lean



Nota. Gemini IA (2026)

1.4 Value Stream Mapping (VSM) y la simbología del Proceso

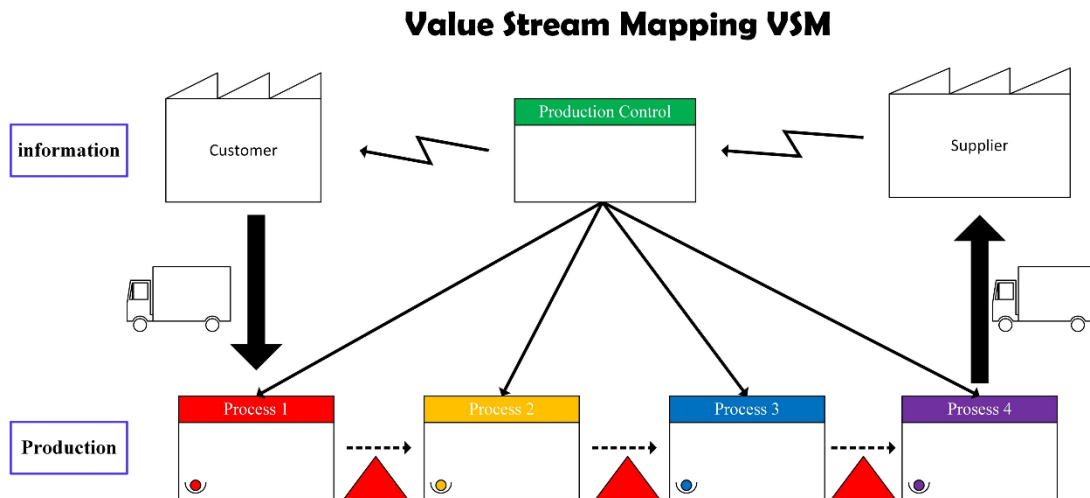
El **Value Stream Mapping (VSM)**, o Mapa del Flujo de Valor, es la herramienta fundamental del Lean Manufacturing para visualizar, analizar y diseñar el flujo de materiales e información necesarios para poner un producto a disposición del cliente. Antes de iniciar cualquier implantación de Lean Manufacturing, es imperativo conocer la **situación actual** en la industria en la cuál se vaya a aplicar.

1.4.1 El concepto de situación actual

La verdad es que no podemos mejorar lo que no entendemos. El VSM de la situación actual de una industria, nos permite identificar no solo el producto, sino todo el camino que recorre desde que es materia prima hasta que llega a manos del cliente. Como indica la M. Rajadell Carreras y J.L. Sánchez García, (2010), este mapa evidencia las desconexiones entre el flujo de información y el flujo de materiales.

Figura 6

Infografía VSM



Nota: Rajadell Carreras, M., & Sánchez García, J. L. (2010)

La "Situación Actual" es el punto de partida innegociable de cualquier transformación Lean. La verdad es que muchas empresas fracasan porque intentan aplicar soluciones (situación futura) sin haber entendido primero la magnitud de sus problemas.

- El VSM como diagnóstico: Representa visualmente el flujo de materiales (desde el proveedor hasta el cliente) y el flujo de información (desde el pedido hasta la orden de producción).
- Visibilidad de las desconexiones: El mapa actual permite ver dónde se rompe el flujo.
- Identificación del cuello de botella: Al anotar los tiempos de ciclo (T/C) y compararlos con el *Takt Time*, la situación actual nos dice inmediatamente qué máquina está dictando el ritmo (lento) de toda la fábrica.

1.4.2 Consideraciones críticas para su elaboración

Para que un VSM sea una herramienta de ingeniería y no un dibujo estético, debe cumplir cinco principios:

- Entender la Situación Inicial: No se puede diseñar el futuro sin documentar fielmente el presente, con sus fallos y paradas.
- Recogida de Datos en el Gemba (Planta): Los datos no se extraen del ordenador. El ingeniero debe bajar a la planta, cronometrar los tiempos y, sobre todo, escuchar a los operarios, quienes conocen las deficiencias que el sistema informático ignora.
- Precisión y Utilidad: Se deben evitar datos irrelevantes. Nos interesan: Tiempos de Ciclo (T/C), Tiempos de Cambio (M/S), Fiabilidad y Disponibilidad.

- Uso de Lápiz y Papel: Al ser un proceso de descubrimiento, el mapa sufrirá constantes cambios y correcciones a medida que se profundiza en el análisis.
- Mapear el Proceso, no la Excepción: El VSM representa lo que ocurre el 90% del tiempo para identificar problemas estructurales, no accidentes puntuales.

1.4.3 Simbología Técnica del VSM

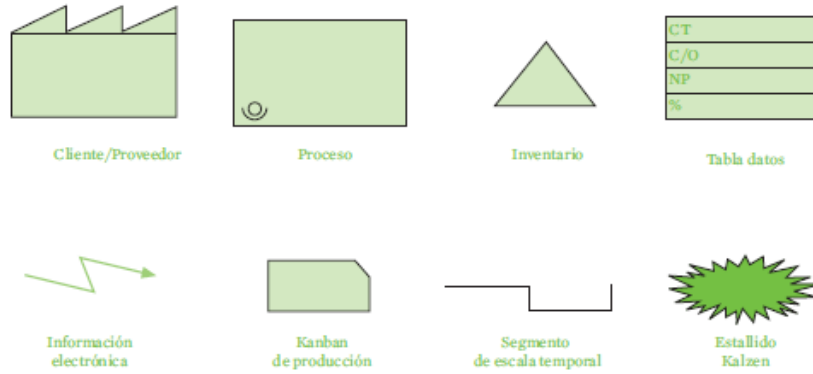
Para evidenciar las actividades inútiles, utilizamos el **VSM** o Mapa del Flujo de Valor. En cualquier fase de fabricación, encontraremos cuatro tipos de operaciones, cada una con su símbolo nemotécnico:

- Valor Añadido (Círculo): La transformación real.
- Transporte (Flecha): Movimientos que no añaden valor.
- Control (Cuadrado): Verificaciones que no deberían ser necesarias si el proceso fuera robusto.
- Stock (Triángulo): Material parado, el síntoma de una fábrica enferma.

Para que el mapa sea un lenguaje universal, se utiliza una gramática visual específica:

- Flujo de Información:
 - Flecha en Zigzag (rayo): Flujo de información electrónica (EDI, Pedidos vía web).
 - Flecha Recta: Flujo de información manual (órdenes de trabajo en papel).
- Flujo de Materiales:
 - Caja de Proceso: Representa una fase de fabricación (ej. Fundición, Montaje).
 - Caja de Datos: Situada bajo el proceso, indica métricas como T/C, M/S, Turnos y Disponibilidad.
 - Triángulo (Δ): Símbolo crítico que representa Inventario o Espera. Se anota la cantidad y el tiempo equivalente en días.
 - Flecha de Rayas (Push): Indica que el material se "empuja" al siguiente proceso basándose en un plan, generando sobreproducción.
 - Símbolo de Camión: Representa el transporte externo de proveedores o hacia clientes.

Figura 7
Símbolos VSM

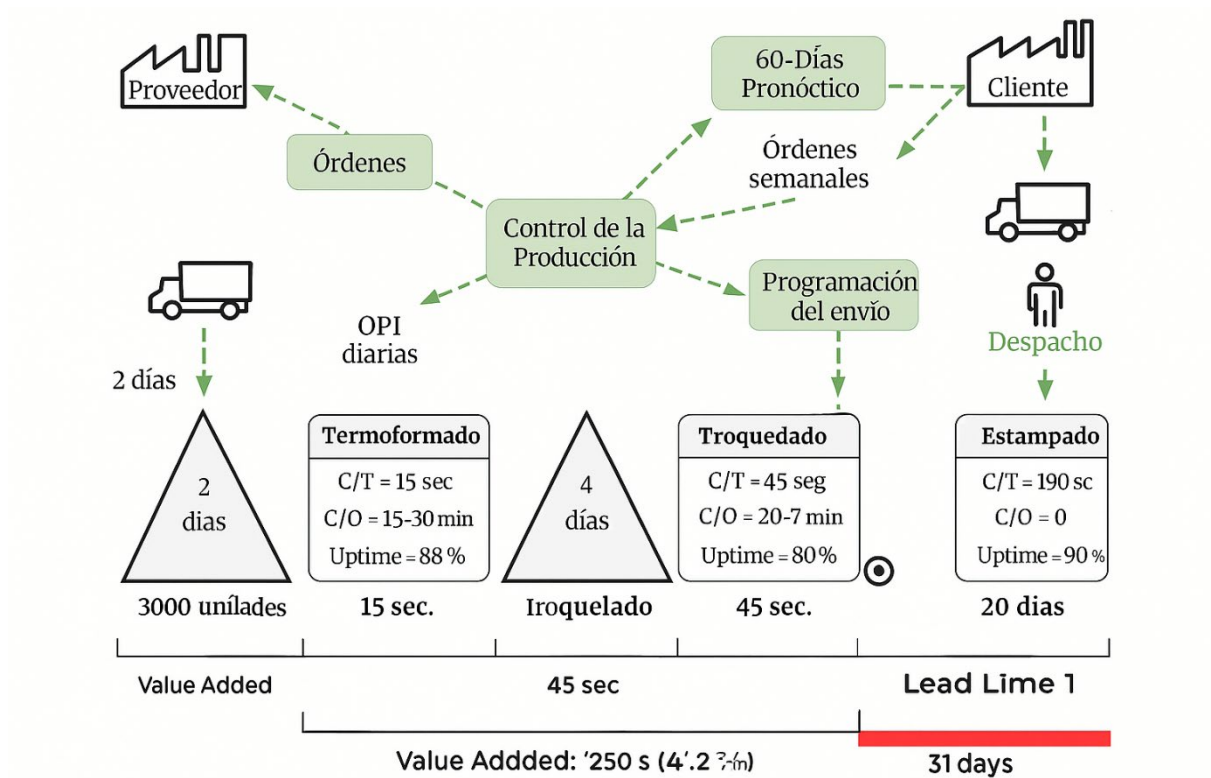


Nota. Hernández Matías, J. C., & Vizán Idoipe, A. (2013)

En la siguiente figura 8, se puede apreciar una representación del mapa visual VSM, en el cual se observa la información de una manera directa y visual:

Figura 8

Ejemplo de mapa de flujo valor (Value Stream Mapping, VSM)



Nota. Hernández Matías, J. C., & Vizán Idoipe, A. (2013)

1.5 Bibliografía

- Hernández Matías, J. C., & Vizán Idoipe, A. (2013). Lean Manufacturing: conceptos, técnicas e implantación. UPM; Fundación EOI.
- Rajadell Carreras, M., & Sánchez García, J. L. (2010). Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad. Ediciones Díaz de Santos.

Capítulo 2. Herramientas Lean: 5S y SMED

2.1.	Introducción.....	24
2.2.	La metodología de las 5S.....	25
2.3.	Orígenes y definición.....	26
2.4.	Objetivos de las 5S	26
2.5.	Fases de las 5S.....	27
2.5.1.	Fase 1: Seiri (Organización)	27
2.5.2.	Fase 2: Seiton (Orden).....	29
2.5.3.	Fase 3: Seiso (Limpieza e Inspección).....	32
2.5.4.	Fase 4: Seiketsu (Estandarización).....	33
2.5.5.	Fase 5: Shitsuke (Disciplina).....	35
2.5.6.	Resumen 5S.....	37
2.6.	Metodología SMED	39
2.6.1.	Definiciones y objetivos de SMED	40
2.6.2.	Un poco de historia: De los años 50 a la revolución de Toyota.....	40
2.6.3.	¿Qué significa realmente "Single Minute"?.....	41
2.6.4.	Las tres ideas fuerza del SMED	41
2.6.5.	¿De qué hablamos cuando hablamos de "Tiempo de Cambio"?	42
2.6.6.	La trampa del pensamiento tradicional: El peligro de los lotes grandes.....	42
2.6.7.	Metodología de Implantación SMED.....	44
2.7.	Bibliografía.....	46

2.1. Introducción

En el mercado competitivo actual, las empresas no sobreviven por ser las más fuertes, sino por su capacidad de adaptación al cambio. Esta unidad didáctica explora dos pilares fundamentales del Lean Manufacturing: las 5S, enfocadas en crear un entorno de trabajo funcional y seguro, y el SMED, diseñado para dotar de flexibilidad a las líneas de producción mediante la reducción drástica de los tiempos de preparación.

Seguramente os ha pasado alguna vez: entras en tu cocina con el tiempo justo para prepararte un café antes de salir corriendo al trabajo. Sabes exactamente dónde está la taza, no tienes que pensar para encontrar el azúcar y, casi por instinto, tu mano se dirige al estante donde guardas el café. Esa sensación de fluidez, de no tener que "pelear" con tu entorno, es la esencia misma de lo que vamos a tratar aquí. Pero, la verdad es que en el mundo industrial, las cosas no siempre son tan idílicas.

A menudo, al cruzar la puerta de una fábrica o de un taller, esa armonía doméstica desaparece. Nos encontramos con pasillos invadidos por cajas, herramientas que parecen jugar al escondite justo cuando más las necesitamos y máquinas que escupen aceite como si estuvieran pidiendo auxilio. Es frustrante, ¿verdad? Y es que trabajar en un entorno caótico no solo mata la productividad, sino que acaba desgastando el ánimo de cualquier equipo. Como bien señalan García-Sánchez et al. (2021), el desorden no es solo una cuestión estética, sino un síntoma disfuncional que oculta problemas mucho más profundos en la raíz de la empresa.

En esta unidad vamos a sumergirnos en dos herramientas que, aunque suenen a ingeniería pura y dura, tienen mucho que ver con el sentido común y la psicología del trabajo: las **5S** y el **SMED**.

Hablemos primero de las 5S. A veces se comete el error de pensar que esto va solo de limpiar, como si estuviéramos preparando la casa para una visita inesperada el domingo por la tarde. Pero es mucho más. Se trata de crear un lenguaje visual donde el entorno nos hable. Imagina un panel de herramientas donde falta una llave inglesa; si ese panel tiene dibujada la silueta de la llave, te darás cuenta al instante de que algo no va bien. Eso es control visual. No necesitas que nadie te lo diga, lo ves. Es pasar del "creo que lo he perdido" al "sé que falta esto". Esta metodología busca, en última instancia, que el operario se sienta dueño de su espacio. Al final del día, nadie quiere trabajar en un lugar sucio o peligroso. La disciplina de la que hablamos aquí no es militar, es el hábito de querer hacer las cosas bien a la primera.

Por otro lado, tenemos el SMED, que a mí me gusta definir como la "Fórmula 1 de la producción". ¿Has visto alguna vez una parada en boxes en un Gran Premio? Es pura poesía en movimiento. Veinte personas cambian cuatro neumáticos y repostan en menos de tres segundos. Nadie corre de un lado a otro buscando una llave, nadie pregunta qué tiene que hacer. Todo está orquestado. En la industria, el SMED busca exactamente eso: que cambiar el molde de una prensa de 50 toneladas sea tan fluido como ese cambio de ruedas.

La realidad es que el mercado ya no nos permite fabricar lo mismo durante meses. Hoy el cliente quiere personalización y la quiere ya. Esto nos obliga a cambiar de producto constantemente. Si tardamos cuatro horas en preparar una máquina para el siguiente pedido, estamos perdiendo dinero y, lo que es peor, estamos perdiendo flexibilidad. Como bien apuntaba Darwin (citado en García-Sánchez et al., 2021), no es la especie más fuerte

la que sobrevive, sino la que mejor se adapta al cambio. El SMED es nuestra herramienta de adaptación.

Además, hay algo que solemos olvidar: el tiempo de cambio afecta a la moral. Un operario que pasa tres horas peleándose con tornillos rebeldes o buscando una llave Allen que alguien dejó donde no debía, termina el turno agotado y desmotivado. Al reducir esos tiempos mediante técnicas inteligentes, no solo ganamos eficiencia, sino que ganamos respeto por el tiempo de las personas. Shingo (1985) revolucionó este concepto al demostrar que lo que antes tardaba horas podía hacerse en minutos si separábamos lo que se hace con la máquina parada de lo que se puede preparar mientras sigue funcionando.

A lo largo de estas páginas, no solo veremos pasos técnicos o tablas de auditoría. Vamos a explorar cómo estas herramientas transforman la cultura de una organización. Porque, seamos sinceros, de nada sirve tener la mejor tecnología si el suelo está lleno de grasa y nadie sabe dónde está el manual de instrucciones. La verdadera innovación empieza por los cimientos: por el orden y por la capacidad de respuesta rápida.

Es un camino que requiere constancia, no lo vamos a negar. No se consigue una fábrica "Fórmula 1" de la noche a la mañana. Pero, como indica Pearson (citado en García-Sánchez et al., 2021), si no lo estás haciendo ya, probablemente deberías empezar a planteártelo con urgencia. Porque en un mundo que se mueve a toda velocidad, quedarse parado buscando una herramienta es, sencillamente, un lujo que nadie se puede permitir.

Prepárate, porque lo que vamos a ver a continuación no es solo teoría de libros de texto; son estrategias reales que separan a las empresas que simplemente sobreviven de aquellas que lideran su sector con elegancia y eficiencia.

2.2. La metodología de las 5S

La verdad es que, cuando escuchamos por primera vez el término "5S", a muchos se nos viene a la cabeza la imagen de una escoba y un recogedor. Es inevitable. Sin embargo, reducir esta metodología a una simple tarea de limpieza es como decir que la Fórmula 1 va solo de conducir coches rápido; nos estaríamos perdiendo la esencia del motor que hay debajo. Las 5S son, en realidad, una estrategia de gestión diseñada para que el entorno de trabajo deje de ser un obstáculo y se convierta en un aliado.

Como bien señalan García-Sánchez et al. (2021), la meta es erradicar esos "síntomas disfuncionales" que, aunque a veces parecen invisibles por la rutina, están ahí drenando nuestra energía y nuestra rentabilidad. Hablamos de pasillos invadidos, herramientas que nunca están donde deberían y ese desinterés que surge cuando un empleado siente que su área de trabajo es, sencillamente, un caos.

Como señala Manuel Rajadell Carreras (2010), para saber si le interesa suficientemente el tema de las 5S haga la siguiente prueba. Entre en su casa y con una venda en los ojos intente lavarse las manos con jabón y luego secárselas en su cuarto de baño. Seguramente superará la prueba. A continuación intente prepararse un café, también seguramente encontrará los materiales y los utensilios que necesita. ¿En las fábricas el funcionamiento es parecido? Las 5S tienen por objetivo conseguir que esto sea posible.

Figura 1



Nota. Manuel Rajadell Carreras (2010)

2.3. Orígenes y definición

Como indica Manuel R. Carreras (2010) , Desde el desarrollo del concepto original de las 5S hacia 1980, éste ha sido aplicado ampliamente en empresas industriales, más que en servicios, a pesar de que quizás son las áreas de servicios las que mayores posibilidades de mejora y beneficio pueden alcanzar con la práctica de las 5S. Las 5S comprometen tanto a la dirección como a los niveles operativos, en la búsqueda de mejores niveles de rendimiento. Las ventajas de aplicar las 5S previamente a otra iniciativa de lean manufacturing son:

- La extraordinaria simplicidad de los conceptos que maneja.
- El gran componente visual y de alto impacto en corto tiempo para el personal, lo cual permite mejorar su participación en nuevas iniciativas de mejora.
- Facilita la comunicación con el resto de empleados, porque como es sabido, los materiales, componentes y equipos que no se usan se convierten en obstáculos que dificultan las relaciones personales.
- Evita reclamaciones de los clientes relativas a la calidad de los productos.
- La mejora de la calidad de vida en el área de trabajo y la seguridad. Boeing por ejemplo usó las 5S como herramienta para mejorar el proceso de seguridad de sus fábricas. Con ello, consiguió analizar cada actividad individual de trabajo, paso por paso, para eliminar rutinas que implicaran riesgos potenciales para la seguridad de las personas.

2.4. Objetivos de las 5S

Las 5S buscan evitar síntomas disfuncionales como el desorden, la suciedad, averías frecuentes y movimientos innecesarios. Su meta es lograr que una fábrica funcione con la misma claridad que un hogar donde uno puede encontrar el jabón o hacerse un café con los ojos vendados; la implantación de las 5S tiene por objetivo evitar que se presenten los siguientes síntomas disfuncionales en la empresa:

- Aspecto sucio de la planta: máquinas, instalaciones, herramientas, etc.
- Desorden: pasillos ocupados, herramientas sueltas, cartones, etc.
- Elementos rotos: topes, indicadores, etc.
- Falta de instrucciones y señales comprensibles por todos.
- No usar elementos de seguridad: gafas, botas, auriculares, guantes, etc.
- Averías más frecuentes de lo normal.
- Desinterés de los empleados por su área de trabajo.
- Movimientos innecesarios de personas, utillajes y materiales.
- Falta de espacio en la zona de los almacenes.

Cuando en una empresa hay un sentimiento que permite identificarse con los síntomas apuntados, entonces la implantación de las 5S es muy recomendable y se justifica por las siguientes razones, Manuel Rajadell Carreras (2010):

- Son indiscutibles las ventajas de tener cada cosa en su sitio, limpia y lista para su uso. Este principio debe ser un hábito de comportamiento, que ha de ser estandarizado.
- Se trata de un proyecto que plantea objetivos alcanzables para un grupo designado para llevarlo a cabo, lo cual posiblemente atraerá la voluntad de colaboración de otros.
- El periodo de ejecución se plantea a corto plazo (tres meses como máximo).
- Presenta resultados tangibles, cuantificables y visibles para todos, ya que se trata de algo que facilitará el desarrollo del trabajo y será aplicable con posterioridad.

Por lo tanto, como objetivos específicos:

- Eliminar el despilfarro: Reducir movimientos innecesarios de personas y materiales.
- Seguridad: Un entorno ordenado reduce drásticamente los accidentes laborales (caídas, golpes, etc.).
- Control Visual: Permitir que cualquier persona detecte una anomalía a simple vista (falta de una herramienta, fuga de aceite, etc.).

2.5. Fases de las 5S

La implantación de las 5S sigue un proceso establecido en cinco pasos, cuyo desarrollo implica la asignación de recursos, la adaptación a la cultura de la empresa y la consideración de aspectos humanos. El esquema adjunto resume los principios básicos de las 5S en forma de cinco pasos o fases, que en japonés se componen con palabras cuya fonética empieza por "s": **seiri, seiton, seiso, seiketsu y shitsuke**; que significan, respectivamente: eliminar lo innecesario, ordenar (cada cosa en su sitio y un sitio para cada cosa), limpiar e inspeccionar, estandarizar (fijar la norma de trabajo para respetarla) y disciplina (construir autodisciplina y forjar el hábito de comprometerse).

2.5.1. Fase 1: Seiri (Organización)

La primera fase es, posiblemente, la más liberadora pero también la más difícil psicológicamente. Se trata de separar lo necesario de lo innecesario. Y es que, la verdad, los seres humanos tenemos una tendencia natural a acumular "por si acaso". En las

fábricas, ese "por si acaso" se traduce en repuestos de máquinas que ya no existen o herramientas melladas que nadie usa.

Para solucionar esto, utilizamos la Técnica de la Tarjeta Roja. Es un proceso casi detectivesco: ponemos una etiqueta roja a todo aquello que no se haya usado en el último mes. Si nadie reclama ese objeto en un tiempo prudencial, se retira. No es crueldad, es eficiencia. Al final, como indica el manual técnico (García-Sánchez et al., 2021), el objetivo es recuperar espacio y eliminar distracciones. Si no añade valor a la pieza que estás fabricando hoy, no debería estar en tu mesa.

Uno de los principales enemigos del seiri es el "esto puede ser útil más adelante", que conduce a coleccionar elementos innecesarios que molestan y quitan espacio. La aplicación del **seiri** comporta:

- Separar aquello que es realmente útil de aquello que no lo es.
- Mantener lo que se necesita y eliminar lo que sobra.
- Separar los elementos necesarios según su uso y a la frecuencia de utilización.
- Aplicar estas normas tanto a materiales tangibles (herramientas, máquinas, piezas, etc.) como intangibles (información, ficheros, etc.).

Los beneficios del **seiri** se pueden ver reflejados en aspectos como:

- Liberación de espacio útil en plantas y oficinas.
- Reducción del tiempo necesario para acceder a los materiales, herramientas, utillajes, etc.
- Facilidad para el control visual.
- Aumento de la seguridad en el lugar de trabajo.

Como se ha mencionado anteriormente, se emplea la técnica mediante tarjetas rojas, a continuación se muestran ejemplos de tarjetas rojas y su utilización.

Figura 2



Nota. Manuel Rajadell Carreras (2010)

La utilización de las tarjetas rojas debe seguir un criterio ordenado de actuación a partir de una lista de chequeo de los distintos elementos susceptibles de "evaluación". A continuación se adjunta un ejemplo.

Tabla 1

Ejemplo puntos de chequeo en taller y archivo de oficina

Meta	Puntos de chequeo
Ficheros, libros, planos, documentos, etc.	Libros y documentos cuyo periodo de almacenaje especificado haya expirado, conservando solo los archivos necesarios. Documentación guardada por duplicado.
Carteles o anuncios	Documentación caducada o no actualizada.
Mobiliario, estantes, archivadores, etc.	Muebles en desuso, rotos o con aspecto deteriorado, archivadores que no se utilizan.
Máquinas y accesorios	Máquinas técnica y económicamente obsoletas o de mal uso.
Stocks	Productos acabados, productos en curso, materiales en proceso, materiales de test.
Equipos, utillajes, herramientas, etc.	Elementos viejos, obsoletos, desgastados o defectuosos.
Otros artículos	Ítems relacionados con la gestión o diseño que son de necesidad cuestionable en programas, elementos que se han retirado del equipo, cosas que no se usan nunca, etc.

2.5.2. Fase 2: Seiton (Orden)

Una vez que nos hemos quedado solo con lo esencial, llega el momento de darle un sitio. Pero no cualquier sitio. Aquí entra en juego la ergonomía y la frecuencia de uso. Lo que usas cada diez minutos debe estar al alcance de tu mano; lo que usas una vez al día puede estar en un armario cercano.

La regla de oro es: "un sitio para cada cosa y cada cosa en su sitio". Para lograrlo, usamos paneles de sombras (donde dibujamos la silueta de la herramienta) o cintas de colores para delimitar zonas en el suelo. Es curioso, pero cuando el orden es visual, el cerebro se relaja. Ya no tienes que "buscar", solo tienes que "coger". Esta fase reduce drásticamente los tiempos muertos y, curiosamente, mejora el humor del equipo (García-Sánchez et al., 2021).

Seiton consiste en organizar los elementos necesarios de forma que sean localizables al instante. Esto implica asignar un lugar específico para cada objeto e identificarlo adecuadamente para facilitar tanto su búsqueda como su retorno después del uso.

- La mayor barrera para el éxito de esta etapa es la procrastinación ("ya lo ordenaré mañana"), que inevitablemente deriva en el desorden total. Para implementar Seiton de forma efectiva, es fundamental:
- Delimitar espacios: Marcar claramente los límites de las áreas de trabajo, zonas de almacenamiento y pasillos.

- Asignar lugares adecuados: Garantizar que cada herramienta o material tenga un espacio funcional.
- Eliminar duplicidades: Seguir la máxima de "un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar".

La aplicación del orden estratégico impacta directamente en la operatividad, los beneficios del seiton, son:

- Rapidez: Acceso inmediato a lo que se necesita.
- Productividad: Optimización del rendimiento global de la planta.
- Seguridad: Reducción de riesgos y accidentes laborales.
- Accesibilidad: Mejora visual y flujo de información sobre la ubicación de los recursos.

El objetivo es disponer de lo necesario en el momento oportuno y en perfectas condiciones, eliminando tiempos muertos de búsqueda. Para lograrlo, la ubicación de los objetos debe decidirse bajo criterios de **seguridad, calidad y eficacia**, basándose principalmente en la **frecuencia de uso**:

Tabla 2

Aplicación seiton

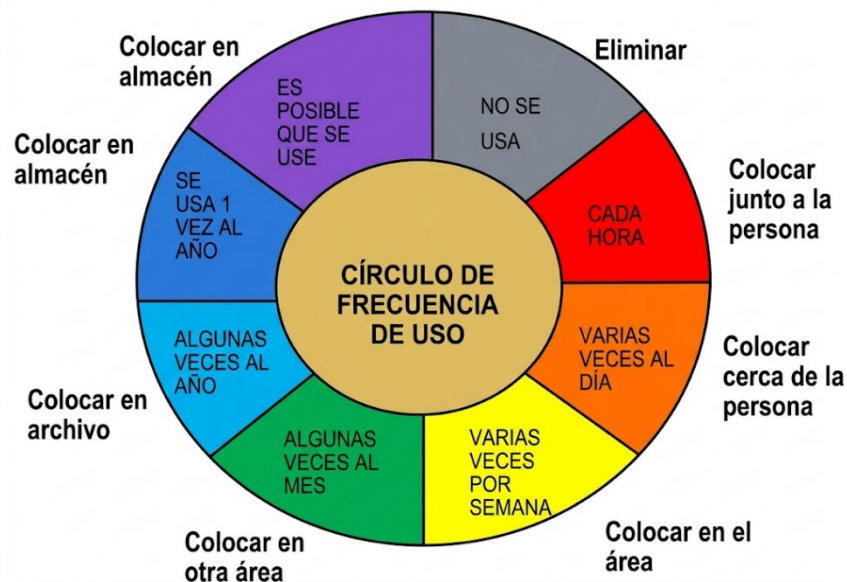
Frecuencia de Uso	Ubicación Sugerida
Uso constante	Cerca del operario y a mano.
Uso ocasional	Áreas de almacenamiento común.
Uso raro o esporádico	Almacén central o depósito.

Algunos de los criterios de organización basados en la lógica operativa, son:

- Eliminar la suciedad, el polvo, el óxido, la electricidad estática y otras partículas extrañas, colocando los artículos en sobres, cajas de plástico o recubriéndolos con inhibidores de corrosión.
- Decidir los niveles de existencias (máximo y mínimo). Los indicadores de cantidad limitan el número de estantes y espacios a utilizar para mantener stocks. Cuando no se pueden señalar cantidades exactas, al menos hay que indicar cantidades máximas y mínimas.
- Ordenar los objetos de manera que las personas no tropiecen con ellos, delimitando zonas de paso, de almacenamiento, etc.
- Organizar estantes y muebles en lugares específicos.
- Ordenar las áreas de almacenaje para facilitar el transporte y para que los artículos se almacenen y utilicen preferentemente por el método FIFO (*first in, first out*). Etiquetar y asignar números de localización a las áreas de almacenaje e indicar el punto de pedido (unidades disponibles en el momento de lanzar una orden de aprovisionamiento), el tamaño del lote y el plazo de entrega.
- Ordenar las cosas según líneas rectas, en ángulos rectos, en vertical o en paralelo.
- Marcar en rojo los contenedores y estantes de artículos defectuosos o de rechazo.
- No colocar nunca cosas directamente sobre el suelo.

- Escribir claramente las indicaciones de las localizaciones. Confeccionar, colocar o colgar placas o tableros de señales que indiquen de forma clara, los nombre de las cosas, los códigos de los estantes o muebles para definir el lugar en donde debe colocarse cada cosa.

Figura 3



Nota. Manuel Rajadell Carreras (2010)

Esta gráfica circular (figura 3), es una herramienta visual para aplicar el principio de Seiton (Orden), ya que te ayuda a decidir la ubicación óptima de cada elemento según su frecuencia de uso. La regla general es colocar los objetos más cerca cuanto más frecuentemente se utilicen.

A continuación, se detalla la acción a tomar según la frecuencia de uso indicada en el círculo:

- **No se usa:** Se debe **eliminar** el objeto.
- **Cada hora:** El objeto se debe **colocar junto a la persona**.
- **Varias veces al día:** Se debe **colocar cerca de la persona**.
- **Varias veces por semana:** El objeto se debe **colocar en el área** de trabajo.
- **Algunas veces al mes:** Se debe **colocar en otra área**.
- **Algunas veces al año:** El objeto se debe **colocar en archivo**.
- **Se usa 1 vez al año:** Se debe **colocar en almacén**.
- **Es posible que se use:** Al igual que el anterior, se debe **colocar en almacén**.

Este gráfico te servirá como guía visual para que el equipo sepa exactamente dónde debe estar cada cosa sin dudarlo. Aquí tenéis la tabla de referencia basada en el diagrama:

Tabla 3

Aplicación frecuencia de uso Seiton

Frecuencia de Uso	Acción Requerida	Prioridad / Color Sugerido
Cada hora	Colocar junto a la persona	Rojo (Inmediato)
Varias veces al día	Colocar cerca de la persona	Naranja (Alta)
Varias veces por semana	Colocar en el área	Amarillo (Media)
Algunas veces al mes	Colocar en otra área	Verde (Baja)
Algunas veces al año	Colocar en archivo	Azul (Archivo)
Una vez al año / Posible uso	Colocar en almacén	Gris (Almacén)
No se usa	Eliminar	Negro (Descarte)

2.5.3. Fase 3: Seiso (Limpieza e Inspección)

Aquí es donde la analogía de la limpieza se queda corta. En las 5S, limpiar es inspeccionar. Imagina que estás limpiando una prensa hidráulica y, al pasar el trapo, notas una pequeña fisura o una gota de aceite que no debería estar ahí. ¡Enhorabuena! Acabas de evitar una avería que podría haber parado la fábrica durante días.

No limpiamos para que brille (que también), limpiamos para conocer nuestra máquina. El operario que limpia su puesto se convierte en el primer guardián del mantenimiento. Es una forma de "apropiarse" del equipo, de cuidarlo porque es la herramienta que te permite hacer un buen trabajo.

En definitiva, según Manuel Rajadell Carreras (2010), **Seiso** significa limpiar, inspeccionar el entorno para identificar el *fuguai* (pala-bra japonesa traducible por defecto) y eliminarlo. En otras palabras, *seiso* da una idea de anticipación para prevenir defectos.

La implementación efectiva del **Seiso** implica transformar la limpieza en un valor estratégico mediante tres pilares:

- **Integración operativa:** Convertir la limpieza en un hábito inseparable de las tareas diarias, no como un evento aislado.
- **Limpieza como inspección:** Asumir que limpiar es, en esencia, inspeccionar el equipo y el entorno para detectar anomalías de forma temprana.
- **Enfoque en la raíz:** Priorizar la identificación y eliminación de las fuentes de suciedad por encima de simplemente limpiar las consecuencias.

La práctica constante de la limpieza genera una transformación profunda en la operatividad, reflejada en los siguientes puntos clave:

- **Seguridad Preventiva:** Se reduce drásticamente el riesgo potencial de accidentes al mantener superficies y áreas de tránsito despejadas y libres de residuos peligrosos.
- **Longevidad de Activos:** Se logra un incremento significativo en la vida útil de la maquinaria y las herramientas mediante el cuidado constante.
- **Fiabilidad Operativa:** Al limpiar se inspecciona, lo que permite una reducción directa en el número de averías y paradas no programadas.
- **Cultura de Excelencia:** Se genera un efecto multiplicador positivo, ya que un entorno limpio motiva a mantenerlo así, instaurando el hábito de la limpieza de forma natural.

Figura 4



Nota. Planta de fabricación de teléfonos móviles. Manuel Rajadell Carreras (2010)

2.5.4. Fase 4: Seiketsu (Estandarización)

Todos hemos visto esa "limpieza general" que se hace cuando viene una visita importante y que, tres días después, ha desaparecido por completo. Para evitar este efecto yo-yo, necesitamos estandarizar.

La estandarización consiste en crear normas visuales. Fotos del "estado ideal" pegadas en el puesto, listas de comprobación sencillas o calendarios de limpieza. La idea es que, si mañana viene un operario nuevo, sepa exactamente cómo debe quedar el puesto al final del turno sin necesidad de que nadie se lo explique mil veces. Se trata de fijar la norma para poder respetarla.

Seiketsu es la fase encargada de sistematizar y consolidar los avances logrados con las tres primeras "S" (Selección, Orden y Limpieza). Su objetivo es asegurar que los beneficios obtenidos sean duraderos y no se pierdan con el tiempo.

Estandarizar significa definir un método claro y sencillo para realizar procedimientos o tareas, convirtiendo la organización y el orden en la norma operativa. Un estándar es,

simplemente, la mejor forma de hacer las cosas para todos, ya sea a través de documentos, fotografías o señales visuales. Los puntos clave de la estandarización:

- **Ubicación fija:** Determina dónde deben estar los objetos y dónde se realizan las actividades.
- **Control de inspección:** Define rutinas de limpieza e inspección tanto para equipos fijos (maquinaria) como móviles (suministros).
- **Combate la inconsistencia:** El mayor enemigo de esta etapa es la conducta errática ("hoy sí, mañana no"), que deshace rápidamente el progreso alcanzado.

Para aplicar **Seiketsu** correctamente, la organización debe:

- **Preservar el nivel:** Mantener estrictamente los estándares de clasificación, orden y limpieza ya alcanzados.
- **Crear protocolos:** Elaborar estándares de limpieza claros y auditar su cumplimiento de forma regular.
- **Concientización:** Comunicar a todo el equipo la importancia vital de respetar y seguir estos estándares.

Los beneficios principales que se obtiene, son:

- **Dominio técnico:** Genera un conocimiento más profundo de las instalaciones y equipos.
- **Cultura preventiva:** Facilita la creación de hábitos de limpieza permanentes.
- **Seguridad operativa:** Evita errores en la limpieza que podrían derivar en accidentes laborales.
- **Eficiencia ante averías:** Mejora notablemente los tiempos de respuesta e intervención ante fallos técnicos.

Ejemplo de la aplicación de estas tres primeras "S", basada en la línea de montaje de teléfonos móviles mencionada anteriormente, sería:

Tabla 4

Aplicación de las tres primeras "S" en la línea de montaje de una planta de fabricación de teléfonos móviles

Categoría	Elemento / Tarea	Estándar de "Estado Ideal"	Frecuencia de Acción	Responsable
SEITON (Orden)	Herramientas de mano	Ubicadas en soportes identificados, junto al operario.	Cada hora (revisar posición)	Operario
	Componentes (Kits)	Organizados por lotes en el área de trabajo, sin cruces.	Varias veces al día	Logística

	Pasillos y accesos	Totalmente despejados de cajas o palés.	Continuo	Todo el personal
SEISO (Limpieza)	Bancos de trabajo	Libres de polvo, restos de soldadura o adhesivos.	Cada hora (limpieza rápida)	Operario
	Maquinaria / Robots	Carcasas e indicadores visuales limpios para inspección.	Varias veces por semana	Mantenimiento
	Suelos de la línea	Brillo uniforme; sin manchas de aceite o residuos.	Al final del turno	Equipo de Limpieza
SEIKETSU (Control)	Documentación/Fichas	Visibles, protegidas y actualizadas en el panel.	Algunas veces al mes	Supervisor
	Contenedores de residuos	Vaciados antes de llegar al 80% de su capacidad.	Varias veces al día	Operario

2.5.5. Fase 5: Shitsuke (Disciplina)

Esta es la cima de la montaña. La disciplina no significa castigo, sino compromiso. Es ese momento mágico en el que ya no hace falta que el supervisor pase revista porque el equipo ha comprendido que trabajar en un entorno 5S es, simplemente, mejor para todos.

Requiere constancia y, sobre todo, apoyo de la dirección. Como bien señalaba Andrall Pearson (citado en García-Sánchez et al., 2021), si no lo estás haciendo ya, probablemente deberías empezar con urgencia. La disciplina convierte una técnica en una cultura.

Shitsuke se traduce como disciplina o normalización. Su objetivo es convertir el cumplimiento de los estándares en un hábito cotidiano, logrando que la organización acepte y aplique las normas de forma natural. El pilar central de esta fase es el **autocontrol**: que cada miembro mantenga la autodisciplina necesaria para que el proyecto 5S perdure en el tiempo.

Esta fase se define por una dualidad: **Es la más fácil**, porque simplemente consiste en seguir las normas ya establecidas y mantener el estado óptimo de las cosas. **Es la más difícil**, porque su éxito depende totalmente de cuánto haya calado el "espíritu de las 5S" en la cultura de la empresa durante las etapas anteriores.

Originalmente, la palabra *shitsuke* se refería a la alineación de las costuras en una tela. De la misma forma, la conducta en el trabajo debe alinearse con las reglas básicas. La conducta correcta se fortalece con la práctica y requiere un cambio de hábitos para que todo el personal ejecute sus tareas de forma uniforme y sin errores.

Para que el **Shitsuke** sea efectivo, la organización debe:

- **Respeto absoluto:** Cumplir rigurosamente las normas y estándares que regulan el funcionamiento.
- **Reflexión crítica:** Evaluar constantemente el grado de cumplimiento de los estándares establecidos.
- **Autodisciplina:** Fomentar el respeto por uno mismo, por los demás y por el entorno de trabajo.
- **Auditorías transparentes:** Realizar evaluaciones periódicas conocidas por todo el equipo para facilitar la autoevaluación.

Los beneficios de esta fase (**Shitsuke**), son:

- **Cultura de Respeto:** Sensibilidad y cuidado extremo hacia los recursos y herramientas de la planta.
- **Moral Elevada:** Mejora del ambiente laboral, lo que impacta positivamente en la motivación del equipo.
- **Excelencia Operativa:** Creación de una atmósfera donde las personas son capaces de cumplir lo que ellas mismas han decidido, factor indispensable para una planta de clase mundial.

Continuando con el ejemplo anterior, que se está desarrollando, a continuación se muestra la tabla 5, que integra el **Círculo de Frecuencia** con la disciplina de auditoría:

Tabla 5

*Aplicación de la fase **Shitsuke** (Disciplina),*

Elemento de Control	de	Estándar Esperado	Frecuencia de Auditoría	Método de Verificación
Cumplimiento de Estándares	de	Puesto idéntico a la referencia visual.	Semanal	Auditoría cruzada entre turnos.
Hábitos de Limpieza		Limpieza integrada en la tarea, no al final.	Diaria	Autoevaluación del operario.
Uso de Herramientas		Ubicación según frecuencia de uso.	Aleatoria	Observación directa del supervisor.

Para asegurar que la disciplina (**Shitsuke**) no se pierda y evitar la "conducta errática", en la siguiente tabla se muestra un **Calendario de Auditorías 5S**. Este sistema utiliza la lógica del **Círculo de Frecuencia de Uso** para determinar cuándo y qué inspeccionar, este calendario garantiza que los estándares visuales alcanzados se mantengan como un hábito permanente en la fábrica.

Tabla 6

Calendario Mensual de Auditorías: Disciplina (Shitsuke)

Semana	Tipo de Auditoría	Enfoque Principal	Herramienta de Referencia
Semana 1	Autoevaluación Diaria	Orden de herramientas de uso constante (Cada hora).	Foto del puesto ideal.
Semana 2	Auditoría Cruzada	Verificación de áreas comunes y limpieza de maquinaria.	Tabla de limpieza semanal.
Semana 3	Revisión de Almacén	Clasificación de objetos de uso mensual o anual.	Círculo de Frecuencias.
Semana 4	Auditoría Gerencial	Evaluación de la cultura de respeto y mejora del ambiente.	Informe de beneficios (Averías/Accidentes).

Continuando con el ejemplo, para que el **Shitsuke** sea efectivo, el auditor debe seguir estos pasos en cada visita a la línea de montaje:

1. **Observación Visual:** Comparar el estado actual de la línea contra la imagen de referencia de "fábrica excelente".
2. **Verificación de Frecuencias:** Confirmar que los elementos marcados como "uso diario" están realmente cerca de la persona.
3. **Detección de Desvíos:** Identificar si se ha vuelto a la táctica del "hoy sí y mañana no".
4. **Feedback Positivo:** Reconocer al equipo si el estándar se mantiene, fomentando el respeto y la moral.

De esta forma el ciclo completo de las 5S, se muestra en la siguiente tabla n° 7:

Tabla 7

Resumen del Ciclo Completo (Las 5S)

Etapa	Concepto Clave	Tu Herramienta Guía
Seiri	Seleccionar	Círculo de Frecuencia de Uso
Seiton	Ordenar	"Un lugar para cada cosa"
Seiso	Limpiar	Limpieza como inspección diaria
Seiketsu	Estandarizar	Ficha de Estándar Operativo (Tabla conjunta)
Shitsuke	Disciplinar	Calendario de Auditorías y Autocontrol

2.5.6. Resumen 5S

La implementación de las 5S es un proceso estratégico que requiere asignar recursos, adaptar la cultura organizacional y considerar el factor humano como eje del cambio. El

camino hacia la excelencia operativa se divide en cinco fases fundamentales: las 5 Fases del Ciclo, son:

1. **Seiri (Eliminar):** Identificar y retirar todo lo innecesario del área de trabajo.
2. **Seiton (Ordenar):** Establecer un lugar específico para cada cosa y asegurar que cada cosa esté en su sitio.
3. **Seiso (Limpiar e Inspeccionar):** Integrar la limpieza como una herramienta de inspección para detectar fallos de forma precoz.
4. **Seiketsu (Estandarizar):** Fijar normas y procedimientos de trabajo claros para que el orden sea la regla.
5. **Shitsuke (Disciplina):** Forjar el hábito del compromiso y la autodisciplina para mantener los logros en el tiempo.

Como estrategia de Éxito, se recomienda iniciar la implantación en un área piloto reducida, donde se puedan obtener y demostrar resultados significativos de forma rápida antes de expandirlo a toda la planta. En el ejemplo que se ha desarrollado, el despliegue de esta metodología transforma el entorno de fabricación de teléfonos móviles en varios niveles:

- **Control Visual Superior:** Facilidad inmediata para supervisar el estado de la línea de un solo vistazo.
- **Seguridad Laboral:** Incremento directo de la seguridad al despejar riesgos y obstáculos en el área de trabajo.
- **Productividad Optimizada:** Reducción de costes y mejora de la calidad, aumentando la capacidad operativa de la planta.
- **Fiabilidad de Activos:** Mayor vida útil de los equipos al reducir averías mediante la inspección constante.
- **Detección de Anomalías:** Conocimiento profundo de las instalaciones que permite a cualquier miembro identificar despilfarros o fallos tanto en almacén como en producción.
- **Clima Organizacional:** Mejora del ambiente de trabajo gracias al compromiso colectivo de mantener un espacio excelente.
- **Plataforma de Mejora:** Sirve como puente fundamental para la implementación de otras metodologías de mejora continua.

Como resumen, se muestra este poster, en el cual se representan las 5 fases:

Figura 5



Nota. Cinco S (Gemini IA, 2026)

2.6. Metodología SMED

El **SMED** (*Single Minute Exchange of Die*) nace de la necesidad de fabricar lotes pequeños sin perder rentabilidad. El objetivo es que el tiempo de cambio (el intervalo entre la última pieza buena del producto A y la primera del B) sea de un solo dígito (menos de 10 minutos).

La verdad es que, en el día a día de una planta de producción, la palabra "cambio" suele venir acompañada de un suspiro de resignación. Y es comprensible. Tradicionalmente, cambiar de un producto a otro ha sido sinónimo de caos, de operarios corriendo de un lado a otro buscando una llave Allen perdida, de ajustes infinitos que nunca parecen quedar bien y, sobre todo, de máquinas paradas que no producen ni un solo céntimo. Pero, ¿y si te dijera que ese proceso puede ser tan fluido y emocionante como una parada en boxes de un Gran Premio?

Las técnicas **SMED** (*Single Minute Exchange of Die*) no son solo un conjunto de pasos técnicos; son un enfoque de mejora que exige, por encima de todo, método y una constancia inquebrantable en el propósito. La idea es sencilla pero potente: que nadie vuelva a tener miedo al cambio de producto. Imagina por un momento que todo está perfectamente programado y que el equipo está tan bien entrenado que no hay margen para el fallo. Es esa sensación de seguridad la que te permite "parar en el box" sin el temor de perder la carrera mientras se cambian las ruedas y se reposta carburante.

Seguramente te habrás fijado en una escudería de Fórmula 1. ¿Cuánto tardan en cambiar las cuatro ruedas y meter 90 litros de gasolina? Apenas unos segundos. Ese nivel de precisión no es magia; es SMED en su estado más puro. Como bien señala el manual de García-Sánchez et al. (2021), la meta es la estandarización total para que el equipo responda con la máxima flexibilidad ante los caprichos de la demanda.

2.6.1. Definiciones y objetivos de SMED

Cuando hablamos de los objetivos de las técnicas SMED, el titular siempre es el mismo: **reducir el tiempo de cambio (setup)**. Pero, para poder reducirlo, primero tenemos que entender qué es exactamente. En el mundo Lean, el tiempo de cambio se define con una precisión quirúrgica: es el intervalo de tiempo que transcurre desde que sale la última pieza buena del producto "A" hasta que sale la primera pieza buena del producto "B", cumpliendo estrictamente con todas las especificaciones de calidad. No vale con que la máquina empiece a moverse; el cronómetro solo se para cuando la producción es vendible.

"No sobrevive la especie más fuerte ni la más inteligente, sino la que se adapta mejor al cambio" (Darwin, citado en García-Sánchez et al., 2021, p. 123).

Y es que, además de la ganancia económica obvia de tener la máquina funcionando más tiempo, el SMED tiene un beneficio emocional que a menudo pasamos por alto: el **aumento de la moral**. No hay nada que desmotive más a un operario que sentirse torpe o lento debido a un proceso mal diseñado. Al simplificar y agilizar el cambio, los trabajadores ganan confianza y se sienten capaces de afrontar retos similares en cualquier otro rincón de la planta. Al final, se trata de convertir un momento de tensión en una exhibición de profesionalidad y eficiencia.

La verdad es que, si logramos dominar el SMED, dejamos de fabricar por inercia y empezamos a fabricar con estrategia. Ya no importa si el cliente pide diez unidades o mil; nuestra capacidad de respuesta es tan rápida que la palabra "imposible" desaparece del vocabulario de producción.

2.6.2. Un poco de historia: De los años 50 a la revolución de Toyota

La verdad es que la preparación rápida no nació de un golpe de suerte, sino de la necesidad pura. Fue una innovación que los japoneses aportaron a la organización científica del trabajo, y tiene nombre y apellido: **Shigeo Shingo**. Todo empezó allá por 1950, en la fábrica Toyo Kogyo de Mazda, cuando a Shingo le encargaron unos trabajos que sembraron la primera semilla. Sin embargo, como ocurre con las grandes ideas, necesitó

tiempo para madurar. No fue hasta los años setenta cuando el sistema SMED alcanzó su plenitud mientras Shingo trabajaba para Toyota.

Lo más bonito de esta historia es que no fue una imposición de la directiva; fueron los propios operarios quienes, con un empuje increíble, adoptaron el SMED como uno de los pilares básicos de su modo de fabricación. Y es que, al final, implementar estas técnicas requiere, más que máquinas caras, un **cambio de actitud profundo**. Es un método de mejora continua donde la empresa se compromete a esforzarse cada día para que los tiempos de preparación sean, aunque parezca imposible al principio, cada vez más cortos.

2.6.3. ¿Qué significa realmente "Single Minute"?

Originalmente, el término *Single Minute Exchange of Die* (cambio de matriz en un solo dígito de minutos) significa que el tiempo de preparación debe ser inferior a 10 minutos. Es decir, que el cronómetro marque una sola cifra. Hoy en día, la tecnología y el ingenio humano han avanzado tanto que, en muchísimos casos, ese tiempo se ha reducido a menos de un minuto. ¡Un abrir y cerrar de ojos!

Pero, ¿por qué obsesionarse con unos pocos minutos? La respuesta es sencilla: por **flexibilidad**. Al reducir los tiempos de preparación, podemos permitirnos el lujo de fabricar lotes muy pequeños. Esto significa que ya no necesitamos tener almacenes gigantes llenos de polvo y stock inmovilizado. Podemos trabajar en series cortas, casi a la carta.

Pensemos, por ejemplo, en una planta moderna de automóviles. La realidad es que hoy en día cada coche que sale de la línea suele corresponder a un pedido específico de un cliente en algún lugar del mundo. Imagina la escena: en la cadena de montaje viene un coche granate con llantas de aleación y faros antiniebla para un cliente en Madrid, y justo detrás, sin pausa alguna, viene una unidad verde, con tapacubos sencillos, destinada a un cliente en Berlín. Lograr esa coreografía sin que la fábrica se detenga es el milagro del SMED.

2.6.4. Las tres ideas fuerza del SMED

La competitividad del mercado actual es feroz y nos obliga a ser camaleónicos. La verdad es que las empresas que no son capaces de adaptarse rápido a lo que pide el cliente, simplemente se quedan fuera. Para conseguir esta agilidad y reducir los niveles de stock (tanto de producto acabado como de material en curso), el SMED se convierte en nuestra herramienta más valiosa.

Es curioso, pero en las empresas líderes, esta reducción del tiempo no la promueve un experto de despacho con corbata, sino los propios operarios en sus pequeños grupos de trabajo. Para que tú también puedas aplicarlo con éxito, debes grabar a fuego estas tres ideas fundamentales:

- **Casi todo es posible: Siempre**, y subrayo el siempre, es posible reducir los tiempos de cambio hasta casi eliminarlos por completo. El límite suele estar más en nuestra imaginación que en la física.

- **No es solo una cuestión de "hierros":** Reducir un cambio no es solo un problema técnico de ingeniería; es, sobre todo, un reto de organización. Cómo nos movemos, dónde dejamos las llaves y quién hace qué es lo que marca la diferencia.
- **El método es sagrado:** Solo mediante la aplicación de un método riguroso y disciplinado se obtienen los máximos resultados con el menor coste posible.

Como bien señala García-Sánchez et al. (2021), el éxito del SMED no radica en trabajar más rápido o correr más, sino en trabajar de forma más inteligente, eliminando cada segundo que no aporta valor al producto final.

2.6.5. ¿De qué hablamos cuando hablamos de "Tiempo de Cambio"?

La verdad es que, para mucha gente, "cambiar la máquina" suena a una sola tarea aburrida. Pero si rascamos un poco la superficie, nos damos cuenta de que el tiempo de cambio es un puzzle compuesto por piezas muy distintas. No es lo mismo apretar un tornillo que reprogramar un software de precisión.

Para que esta unidad sea realmente útil, debemos desglosar qué actividades consumen esos minutos que tanto queremos ahorrar. En la tabla nº 7 se muestran los procedimientos más comunes:

Tabla 7

Tipología de los procedimientos de cambio

Tipo de Procedimiento	¿En qué consiste realmente?	Ejemplo cercano
Cambio de utillajes y herramientas	Es el "trabajo pesado". Retirar lo viejo y fijar lo nuevo para que la máquina pueda trabajar.	Cambiar un molde en una prensa o una fresa en un centro de mecanizado.
Ajuste de parámetros estándar	Aquí entra la precisión. Se trata de cambiar la "mente" de la máquina: presiones, temperaturas o velocidades.	Reprogramar un equipo de corte láser o un proceso químico automatizado.
Cambio de materiales y piezas	Cuando el producto B necesita componentes distintos al A. Incluye traer el material a la línea.	Cambiar el color del plástico en una inyectora o recibir los asientos de cuero para el nuevo modelo de coche.
Preparación general previa	Es todo el "ajetreo" antes de empezar: revisar planos, asignar tareas al equipo o limpiar el área.	Asegurarse de que el operario tiene el plano correcto y que la zona está libre de virutas.

Hay algo que debemos desterrar de nuestra fábrica: la incertidumbre. Si le preguntas a un responsable de línea cuánto tarda un cambio y te responde con un "depende", "quizás" o "aproximadamente", tenemos un problema serio. El tiempo de cambio debe ser un dato exacto, conocido y estandarizado. Sin un número real, no hay mejora posible.

2.6.6. La trampa del pensamiento tradicional: El peligro de los lotes grandes

Aquí es donde la lógica a veces nos juega una mala pasada. Tradicionalmente, se ha usado una fórmula matemática muy sencilla para calcular el tiempo por unidad:

$$T_{\text{unidad}} = \frac{s + (a \cdot n)}{n}$$

Donde:

- **s**: Es el tiempo de cambio (que la mentalidad antigua considera inamovible).
- **a**: Es el tiempo que tardas en fabricar una sola pieza.
- **n**: Es el número de piezas que vas a fabricar de una vez.

Hagamos números para entender la trampa:

Imagina que tu tiempo de cambio (**s**) es de **60 minutos** y cada pieza tarda **1 minuto (a)**. Si solo fabricas **1 pieza**, esa unidad te cuesta **61 minutos** de vida. ¡Una ruina!

$$T_{\text{unidad}} = \frac{60 + (1 \cdot 1)}{1} = 61 \text{ minutos}$$

Pero, si fabricas **100 piezas**, el tiempo por unidad baja a **1,6 minutos**.

$$T_{\text{unidad}} = \frac{60 + (100 \cdot 1)}{100} = 1,6 \text{ minutos}$$

La conclusión "lógica" tradicional es: "*Cuantas más piezas hagamos de golpe, mejor repartimos el tiempo de cambio*". Pero ¡cuidado!, esa es una trampa mortal. Esto nos empuja a fabricar lotes gigantescos, lo que genera montañas de stock, sobreproducción y, lo peor de todo, oculta los problemas de calidad bajo una pila de piezas que nadie necesita todavía.

El *Lean Manufacturing* nos propone un reto mucho más emocionante y humano. En lugar de fabricar más piezas para "tapar" un cambio lento, **vamos a atacar el cambio directamente**.

Si aplicamos SMED con rigor y logramos que el tiempo de cambio (**s**) tienda a **0**, la fórmula se simplifica milagrosamente. El tiempo por unidad pasará a ser simplemente **a**.

Y esto es fantástico. ¿Por qué? Porque nos permite el **flujo pieza a pieza**. Nos da la libertad de fabricar exactamente lo que el cliente quiere, cuando lo quiere, sin el peso muerto de los stocks. Es pasar de ser una empresa pesada y lenta a convertirnos en una organización ágil, capaz de pivotar y adaptarse al mercado en cuestión de minutos. Y eso, la verdad, es lo que marca la diferencia entre el éxito y el olvido.

Otro ejemplo, matemático, La verdad es que los números no mienten. Vamos a comparar dos escenarios en el cual se aprecia la diferencia:

Tabla 8

Ejemplo SMED

Concepto	Escenario A: Mentalidad Tradicional	Escenario B: Mentalidad Lean (SMED)
Tiempo de cambio (s)	120 minutos (2 horas de parada)	8 minutos (Cambio rápido)

Tiempo de producción (a)	2 min / unidad	2 min / unidad
Tamaño del lote (n)	500 unidades (Lote grande)	20 unidades (Lote pequeño)
Fórmula aplicada	$\frac{120+(2 \cdot 500)}{500} =$	$\frac{8+(2 \cdot 20)}{20} =$
Tiempo total por unidad	2,24 min / pieza	2,40 min / pieza
Stock generado	MUY ALTO (500 piezas en almacén)	MUY BAJO (Solo 20 piezas)
Flexibilidad	NULA. Si el cliente cambia de opinión, tenemos 500 piezas sobrando.	TOTAL. Podemos cambiar de producto cada 40 minutos.

El tiempo por unidad es casi el mismo, **¡pero hemos fabricado 25 veces menos stock!** Podemos cambiar de modelo 25 veces más rápido para atender a 25 clientes distintos.

Como bien dice el manual (García-Sánchez et al., 2021), el SMED no es para trabajar menos, es para poder trabajar **más veces** en cosas distintas. Es pasar de ser un trasatlántico lento que tarda kilómetros en girar, a ser una lancha motora que vira en un instante. Y en el mercado actual, la verdad es que las lanchas motoras siempre llegan antes a la orilla.

2.6.7. Metodología de Implantación SMED

La verdad es que, cuando uno se enfrenta a un cambio de máquina que tarda cuatro horas, pensar en bajarlo a menos de diez minutos suena a ciencia ficción. Es normal sentir ese escepticismo. Sin embargo, el SMED no hace magia; lo que hace es aplicar una disciplina casi quirúrgica a cada movimiento que hacemos.

Shigeo Shingo, en su sabiduría, nos dejó una hoja de ruta clara. No se trata de correr más, sino de dejar de hacer cosas innecesarias mientras la máquina está parada. Vamos a ver las fases de este viaje, tal como se aplican en las mejores fábricas del mundo.

Fase 0: La toma de datos

Antes de empezar a cambiar nada, tenemos que saber dónde estamos. Y aquí la honestidad es fundamental. La mejor herramienta en esta fase no es un cronómetro, sino una cámara de vídeo.

Grabamos un cambio real, de principio a fin. Pero ¡jojo!, no queremos una actuación para los Oscar. Queremos ver la realidad: el operario yendo a buscar una llave que no está, el momento en que se detiene a preguntar algo a un compañero o el tiempo que pasa esperando a que el molde se caliente. Al ver el vídeo después, la verdad es que solemos llevarnos sorpresas. Cosas que dábamos por normales se revelan como auténticos despilfarros de tiempo.

Fase 1: Separar la preparación Interna de la Externa

Este es el pilar maestro del SMED. Si solo pudieras aprender una cosa de esta unidad, que sea esta:

- **Preparación Interna:** Tareas que *obligatoriamente* requieren que la máquina esté parada (ej. quitar un troquel de una prensa).
- **Preparación Externa:** Tareas que se pueden hacer mientras la máquina todavía está fabricando el lote anterior (ej. traer el nuevo molde al pie de la máquina, preparar las herramientas o limpiar el utillaje).

Como bien indica García-Sánchez et al. (2021), el error más común en la industria tradicional es hacer la preparación externa como si fuera interna. Es decir, parar la máquina y *entonces* empezar a buscar las herramientas. ¡Es como si un cirujano parara una operación a corazón abierto para ir a la farmacia a por gasas!

Fase 2: Convertir la preparación interna en externa

Aquí es donde empezamos a ganar la carrera. El objetivo es que, cuando la máquina se detenga, todo lo necesario esté ya allí, listo para ser montado.

- ¿Podemos precalentar el molde fuera de la máquina?
- ¿Podemos montar las herramientas en un carro auxiliar antes de la parada? La verdad es que, solo con este paso, muchas empresas logran reducir sus tiempos de cambio a la mitad sin gastar ni un euro en tecnología.

Fase 3: Perfeccionar todos los aspectos de la preparación

Una vez que hemos sacado fuera de la máquina todo lo posible, nos centramos en lo que queda dentro (lo interno). Queremos que los ajustes sean rápidos y, sobre todo, que no dependan del "ojo" o la "habilidad especial" de un experto.

- **Eliminar tornillos:** Un tornillo es un enemigo del tiempo. Se tarda mucho en enroscar. ¿Podemos usar cierres de un cuarto de vuelta, pinzas o imanes?
- **Eliminar ajustes:** Si tenemos que mover una guía, no usemos una regla; usemos un bloque de tope fijo. El objetivo es "llegar y besar el santo".

Fase 4: Estandarizar y entrenar

Al final, el SMED es como una coreografía. Si cada vez que cambiamos de producto lo hacemos de una forma distinta, nunca seremos rápidos. Necesitamos una **Hoja de Instrucciones de Cambio** que diga exactamente quién hace qué y en qué orden.

Y como dicen los manuales que te he subido, "si se tienen que usar las manos, no se tienen que mover los pies". Cada paso innecesario es un segundo perdido que no vuelve. La meta es que el equipo esté tan entrenado que el cambio sea aburrido por lo previsible y perfecto que resulta.

Como conclusión de esta unidad, debemos recordar unos principios que García-Sánchez et al. (2021) subrayan como vitales:

1. **Las 5S son el cimiento:** No intentes hacer SMED en un taller sucio y desordenado. El cambio de utillajes empieza y termina con las 5S.

2. **No confíes en "expertos":** El proceso debe ser tan sencillo que cualquier operario formado pueda hacerlo con éxito. No podemos depender de alguien que tiene un "toque especial" para ajustar la máquina.
3. **Cooperación total:** El equipo de diseño de productos debe hablar con el de fabricación. Si diseñamos piezas que usan los mismos anclajes, el SMED será mucho más fácil.

La verdad es que, cuando una empresa domina el SMED, la moral del equipo sube. Se sienten profesionales, sienten que su tiempo se respeta y, sobre todo, sienten que están preparados para ganar cualquier carrera que el mercado les proponga.

2.7. Bibliografía

- Aguilar-Morales, A. B. (2021). La técnica de las 5S: Guía paso a paso para la mejora del entorno laboral. Editorial Progreso Industrial.
- Cervantes Holguín, E., & Gutiérrez Sandoval, P. R. (2020). El profesorado como agente de cambio educativo: entre la docencia y la investigación. *Educación y Ciudad*, (38), 59-72. <https://doi.org/10.36737/O1230425.n38.2020.2316>
- Fareo, D. O. (2015). Counseling intervention and support programmes for families of children with special educational needs. *Journal of Education and Practice*, 6(10), 103-109. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1081793.pdf>
- García-Sánchez, J., Ortega-Mier, M., & Pardo-Ferreira, M. C. (2021). Oportunidades de mejora: Herramientas Lean I. 5S y SMED. Ediciones Paraninfo / Universidad Politécnica de Madrid.
- Rajadell Carreras, M., & Sánchez García, J. L. (2010). *Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad*. Ediciones Díaz de Santos.
- Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Productivity Press.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Free Press.

Capítulo 3. Herramientas Lean: Heijunka

3.1.	Definición.....	48
3.2.	Orígenes de la técnica Heijunka.....	48
3.3.	Objetivos de la técnica Heijunka	49
3.3.1.	Mejorar la respuesta frente al cliente	50
3.3.2.	Estabilización de la plantilla y los medios.....	50
3.3.3.	Minimización de inventarios y despilfarros.....	50
3.3.4.	Visibilidad y control de anomalías.....	50
3.4.	Las 4 técnicas fundamentales de Heijunka	50
3.4.1.	Usar Células de Trabajo.....	51
3.4.2.	Flujo Continuo Pieza a Pieza.....	52
3.4.3.	La Base del Pensamiento	53
3.4.4.	¿Cómo Saber si NO Tenemos Flujo Continuo?.....	54
3.5.	Producir respecto al Takt Time	56
3.5.1.	Takt Time (TT)	56
3.5.2.	Tiempo de paso (Pitch).....	58
3.5.3.	Las Pérdidas por Balanceo: El Coste de la Desincronización.....	59
3.5.4.	Stocks Buffers y de Seguridad.....	60
3.6.	Nivelar Stocks Buffers y de Seguridad.....	61
3.7.	Resumen.....	63
3.8.	Bibliografía.....	64

3.1. Definición

La verdad es que, tras entender el orden de las **5S** y la velocidad del **SMED**, uno podría pensar que ya tiene todas las piezas del puzzle. Pero falta el "director de orquesta". Imagina por un momento que intentas llevar una dieta equilibrada: no tendría sentido comerse cinco kilos de manzanas el lunes y no comer nada el resto de la semana, ¿verdad? Pues en las fábricas tradicionales, a menudo hacemos algo parecido: fabricamos lotes gigantescos de un modelo "A" hoy, simplemente porque es más cómodo, mientras el cliente está pidiendo a gritos el modelo "B".

Aquí es donde entra en juego el **Heijunka**. Esta palabra japonesa, que suena casi mística, significa literalmente "**trabaje llano y nivelado**". Es, sin duda, el paradigma máximo de la producción Lean y el compromiso más alto con la filosofía *Just-in-Time* (JIT). No es solo una técnica de programación, es una filosofía que adapta la producción a la demanda fluctuante del cliente, conectando toda la cadena de valor desde los proveedores hasta el usuario final.

Como bien señalan Womack y Jones (citados en Rajadell Carreras, 2010), el pensamiento Lean a menudo va en contra de nuestra intuición inicial. Nuestra mente nos dice: "fabrica mucho de lo mismo para ahorrar", pero el Heijunka nos susurra: "fabrica un poco de todo, cada día, para sobrevivir". El objetivo es producir en lotes pequeños de muchos modelos, libres de cualquier defecto, en periodos cortos de tiempo. Es, en esencia, sustituir el "empujón" de los grandes lotes por un ritmo suave y predecible.

Según Manuel R. Carreras (2010), se entiende por "*heijunka la metodología que sirve para planificar y nivelar la demanda de clientes en volumen y variedad durante un día o turno de trabajo. Si hay nula o poca variación en cuanto a tipos de producto, quizá no sea necesaria esta sofisticación. Conforme se progresa hacia la producción en pequeños lotes, o hacia un flujo continuo pieza a pieza puro, las puntas y los valles tienen mayor incidencia en la demanda: los pedidos de gran volumen son difíciles de gestionar*"

3.2. Orígenes de la técnica Heijunka

La técnica Heijunka no nació en un laboratorio, sino en el suelo de cemento de la industria del automóvil japonesa. Tras la Segunda Guerra Mundial, empresas como Toyota se dieron cuenta de que no podían competir con los gigantes americanos en volumen bruto. No tenían espacio para grandes almacenes ni dinero para desperdiciar en stock que nadie quería.

Surgió entonces un compromiso extremo con la filosofía *Just-in-Time* (JIT). Los ingenieros japoneses comprendieron que los pedidos de los clientes son relativamente constantes si se analizan en un periodo de tiempo largo (un mes), pero son totalmente impredecibles si se miran hora a hora.

"La técnica Heijunka supone el máximo grado de compromiso con la filosofía JIT y necesita de entornos específicos para su aplicación, tanto en lo relativo a los productos como en los procesos" (Hernández & Vizán, 2013).

Históricamente, el Heijunka evolucionó para evitar que las variaciones del mercado golpearan la fábrica como olas en un acantilado. Se decidió que la fábrica debía actuar como un filtro: recibir la tormenta de pedidos del exterior y transformarla en un flujo de trabajo constante y "suavizado" en el interior. Es el paso definitivo para dejar de ser una empresa reactiva y empezar a ser una empresa sincronizada con la realidad.

Figura 1

Técnica Heijunka



Nota. Infografía

En esta figura, se ilustra la técnica Heijunka. Esta infografía visual compara el sistema tradicional de producción por lotes con la nivelación Heijunka:

- Arriba (Sistema Tradicional): Muestra picos de demanda fluctuante y grandes lotes de un solo producto (cuadrados, luego círculos, luego triángulos). Esto resulta en altos niveles de inventario, picos de estrés para el trabajador y tiempos de espera.
- Abajo (Sistema Heijunka): Muestra una demanda nivelada y un flujo constante de productos mixtos. La "caja Heijunka" u orquesta visual es el elemento clave que suaviza el volumen y la variedad de producción para cada día de la semana (MOD A, MOD B, MOD C), logrando un flujo constante, mayor flexibilidad y bajo inventario.

3.3. Objetivos de la técnica Heijunka

Implementar Heijunka es un reto colosal que exige disciplina, pero los beneficios transforman la cultura de la empresa. Según Rajadell Carreras (2010) y Hernández y Vizán (2013), los objetivos fundamentales son:

3.3.1. Mejorar la respuesta frente al cliente

En un sistema nivelado, el cliente no tiene que esperar a que terminemos un lote gigante de "Producto A" para que empecemos con su "Producto B". Como fabricamos un mix de todos los productos cada día, el tiempo de respuesta se reduce drásticamente. La flexibilidad se convierte en nuestra mejor tarjeta de visita.

3.3.2. Estabilización de la plantilla y los medios

La verdad es que a nadie le gusta trabajar 12 horas un lunes y tener que irse a casa el miércoles por falta de faena. El Heijunka permite nivelar la carga de trabajo de los operarios. Al tener un ritmo constante, se eliminan los picos de estrés y los valles de inactividad, lo que mejora el clima laboral y reduce el absentismo.

3.3.3. Minimización de inventarios y despilfarros

Al producir solo lo que se demanda en lotes pequeños, el stock de seguridad se vuelve casi innecesario. "A través de una producción continua nivelada y en pequeños lotes, se logra producir con el mínimo nivel de despilfarro posible" (Hernández & Vizán, 2013). Menos stock significa más espacio en la planta y, sobre todo, menos dinero "durmiendo" en las estanterías.

3.3.4. Visibilidad y control de anomalías

Cuando el ritmo es constante (marcado por el *Takt Time*), cualquier problema salta a la vista de inmediato. Si una máquina se detiene 5 minutos en un sistema Heijunka, se nota enseguida porque el "paso" se rompe. Esto obliga a la organización a resolver los problemas de raíz en lugar de esconderlos bajo una montaña de piezas defectuosas.

3.4. Las 4 técnicas fundamentales de Heijunka

Llegados a este punto, la verdad es que ya entendemos la teoría: queremos una fábrica que fluya como un río tranquilo y no como una sucesión de inundaciones y sequías. Pero claro, la pregunta del millón es: ¿cómo se aterriza esto en el suelo de la planta? Porque, seamos sinceros, nivelar la producción cuando los pedidos entran de forma caótica parece, a primera vista, una misión imposible.

Para que el Heijunka no se quede en un simple deseo de "ojalá todo fuera más estable", necesitamos mecanismos de ingeniería y organización que funcionen como un reloj suizo. No es una sola receta mágica, sino la combinación de cuatro técnicas que, al trabajar juntas, crean un sistema avanzado de producción. Como bien señalan Hernández y Vizán (2013), estas técnicas suponen el máximo grado de compromiso con la filosofía Just-in-Time (JIT), proporcionando ventajas críticas en la optimización de la mano de obra y la respuesta al cliente.

Imagina que estas cuatro técnicas son las cuatro patas de una mesa. Si falla una, la estabilidad de la producción se desmorona. No basta con querer fabricar en lotes pequeños; necesitas un lugar físico diseñado para ello (las células), un ritmo que seguir (el *Takt Time*), una forma de mover las piezas sin interrupciones (el flujo continuo) y una inteligencia que decida qué fabricar en cada momento (la nivelación del mix).

Además, hay algo muy humano en todo esto. Aplicar estas técnicas no solo sirve para que los números de la empresa salgan en verde, sino para que el operario deje de correr de un lado a otro apagando fuegos. La gestión práctica del Heijunka exige, por tanto, una atención estricta a los principios de estandarización. Según Rajadell Carreras (2010), el pensamiento Lean a menudo desafía nuestra intuición inicial, esa que nos dice que producir mucho de lo mismo es más eficiente, pero una vez que estas técnicas se integran, "se hace la luz" y la eficiencia real aparece de forma evidente.

A continuación, vamos a profundizar en cada una de estas herramientas, en este sentido, vamos a pasar de la filosofía a la acción técnica, analizando cómo configurar el proceso para que los picos de trabajo y los valles de inactividad pasen a ser cosa del pasado.

Para que el Heijunka no sea solo una bonita teoría, necesitamos herramientas prácticas. La verdad es que su aplicación requiere integrar cuatro técnicas que transforman por completo cómo vemos la planta.

3.4.1. Usar Células de Trabajo

La verdad es que no podemos pedirle a un producto que fluya si lo obligamos a viajar kilómetros por la fábrica entre máquina y máquina. El primer paso físico para el Heijunka es romper el modelo de "departamentos aislados" y crear Células de Trabajo.

Una célula es, esencialmente, una "fábrica dentro de la fábrica". En lugar de tener todas las prensas en un sitio y todas las soldaduras en otro, agrupamos las máquinas necesarias para fabricar una familia de productos una al lado de la otra. El diseño estrella es la forma en "U". ¿Por qué? Porque al situar la entrada y la salida en el mismo punto, un solo operario puede supervisar el inicio y el fin del proceso, reduciendo los desplazamientos y facilitando la ayuda mutua entre compañeros.

Tabla 1

Ejemplo de Aplicación: Taller de Montaje de Electrodomésticos

Elemento	Configuración Tradicional (Lineal)	Configuración en Célula Flexible (U)
Distancia recorrida	45 metros (Lineal entre naves)	8 metros (Perímetro de la U)
Operarios requeridos	5 (fijos en cada máquina)	2 o 3 (polivalentes y móviles)
Comunicación	Difícil, mediante interfonos o gritos	Cara a cara, contacto visual constante
Flexibilidad	Muy baja: si falta un operario, la línea para	Alta: los operarios se redistribuyen en la U

En la siguiente figura, se detallada de una distribución en "U" en una industria de montaje de electrodomésticos (lavadoras), siguiendo el ejemplo práctico anterior.

Figura 2

distribución en "U"



Nota. Distribución en "U" en industria de montaje de electrodomésticos.

La imagen captura perfectamente la curva de la línea de producción, Layout en "U": El material entra por la izquierda, sigue la forma en "U" a través de las estaciones de trabajo donde los operarios ensamblan los componentes, y el producto terminado (las lavadoras blancas) sale por la derecha. Se aprecian varios operarios trabajando a una distancia muy cercana. Esto facilita que, si la demanda baja, un solo operario pueda atender varias estaciones, tal como describimos en la Tabla de Células de Trabajo (2.1). El producto se mueve a ras de suelo, sin barreras físicas, facilitando el "mover uno, producir uno". Las cajas de componentes están organizadas y accesibles dentro del perímetro de la "U", minimizando los movimientos innecesarios. Las líneas de color amarillo pintadas en el suelo delimitan claramente el perímetro de la célula, una estrategia de Control Visual (vinculada a las 5S) esencial para que el sistema Heijunka funcione.

3.4.2. Flujo Continuo Pieza a Pieza

El concepto de flujo continuo se resume en una frase que parece sencilla pero que revoluciona la gestión: "Mover uno, producir uno". La meta es que una pieza nunca espere a otra. En la fabricación por lotes, la primera pieza de un grupo de 100 tiene que esperar a que se terminen las otras 99 para pasar al siguiente proceso. Eso es puro despilfarro de tiempo (Lead Time).

Trabajar en flujo continuo significa configurar el proceso para que la interrupción sea mínima. Como indican Hernández y Vizán (2013), esto requiere sincronizar tres flujos: el de información (qué hacer), el de materiales (que no falte nada) y el de operarios (trabajo

normalizado). La operación "aguas arriba" nunca hace más de lo que solicita la operación "aguas abajo".

Tabla 2

Ejemplo de Aplicación: Línea de Envasado de Aceite Gourmet

Proceso	Modelo de Lotes (Tradicional)	Modelo Flujo Continuo (Lean)
Llenado	Llena 50 botellas y las deja en una caja	Llena 1 botella y la pasa inmediatamente
Etiquetado	Espera a recibir la caja de 50 para empezar	Recibe la botella del paso anterior y etiqueta
Encajado	El operario espera 20 min a que llegue el lote	El flujo es constante, una caja cada 2 min
Detección de errores	Se descubre el fallo tras 50 botellas mal llenadas	Se detecta el fallo en la primera botella

Para que quede de una forma más clara, el concepto de flujo continuo, imagináros que estáis en una autopista de varios carriles. Cuando no hay accidentes ni obstáculos, los coches fluyen de manera constante, uno tras otro, llegando a su destino en el menor tiempo posible. Eso es exactamente lo que busca el flujo continuo en un proceso productivo: que el material (la materia prima, una pieza, un formulario) se mueva de una operación a la siguiente sin detenerse, como los coches en una autopista vacía [citación:1].

Su filosofía se resume en una frase muy simple: "mover uno, producir uno". Esto significa que la operación anterior solo fabrica o prepara lo que la operación siguiente necesita en el momento justo. Es como un relevo en una carrera de atletas: el corredor solo pasa el testigo cuando su compañero está listo para recibirlo y seguir corriendo.

Piénsalo así: El flujo continuo se opone a la producción por lotes, que sería como esperar a juntar 100 coches en un peaje para dejarlos pasar a la vez, creando un gran atasco.

3.4.3. La Base del Pensamiento

El corazón del flujo continuo late al ritmo de una idea clave: nunca producir más de lo que el siguiente proceso (tu "cliente interno") necesita. Es la esencia de un sistema "pull" (tirar), donde el cliente tira de la producción, en lugar de que la fábrica le empuje productos que no ha pedido. El objetivo es claro:

- Lo que se necesita.
- Justo cuando se necesita.
- En la cantidad exacta.

A continuación se expone un ejemplo de aplicación: La Pizzería

- Sin flujo continuo (Lotes): El pizzero hace 8 masas de una sola vez y las deja a un lado. Luego, un compañero les pone salsa a todas. Luego, otro les pone queso a todas. La primera pizza puede tardar 30 minutos en salir y ocupa mucho espacio en la cocina.
- Con flujo continuo (One-Piece Flow): El pizzero hace una masa. Inmediatamente, el siguiente operario le pone la salsa y el queso mientras el pizzero hace la segunda masa. La pizza casi terminada pasa al horno. El tiempo de la primera pizza se reduce drásticamente (quizás a 10 minutos) y apenas ocupa espacio. Cada operación trabaja solo en la pizza que la siguiente necesita.

3.4.4. ¿Cómo Saber si NO Tenemos Flujo Continuo?

El primer paso para mejorar es identificar el problema. En una fábrica o en una oficina, el estancamiento (el "atasco") se ve en forma de inventario acumulado. Las causas suelen ser cuatro:

- **Lotes enormes:** Producir de 500 en 500 en lugar de 1 en 1.
- **Recorridos locos:** El producto da muchas vueltas por la fábrica, yendo de un extremo a otro sin un orden lógico.
- **Ritmo descontrolado:** Creer que producir sin parar es bueno, aunque nadie necesite ese producto aún (sobreproducción).
- **Logística pobre:** Los materiales no llegan a tiempo o se mueven de forma ineficiente.

Para que el flujo sea realmente continuo, necesitamos que tres elementos funcionen a la perfección, como los equipos de un box en la Fórmula 1.

1. **Flujo de Información (La Estrategia de Carrera):** Es la información que le dice a cada equipo qué tiene que hacer y cuándo.
 - **Herramientas:** La **nivelación de la producción** (distribuir el trabajo de forma pareja), las **tarjetas Kanban** (que actúan como órdenes visuales para reponer material), y las **reuniones diarias** para ver si vamos según lo planeado.

Por ejemplo, en un hospital, el flujo de información sería el sistema que avisa a enfermería cuando un paciente está listo para ser trasladado a rayos X.

2. **Flujo de Materiales (El Coche de Carreras):** Es el producto físico moviéndose sin pausa.
 - **Herramientas:** Un sistema "pull" (tirar) para evitar acumulaciones, máquinas pequeñas y sencillas en lugar de una gigante y compleja, y entregas muy frecuentes de materiales justo a tiempo.

Por ejemplo, en un line de montaje de automóviles, el coche se desplaza por la cinta. Cada operario añade un componente y el coche pasa al siguiente sin acumularse.

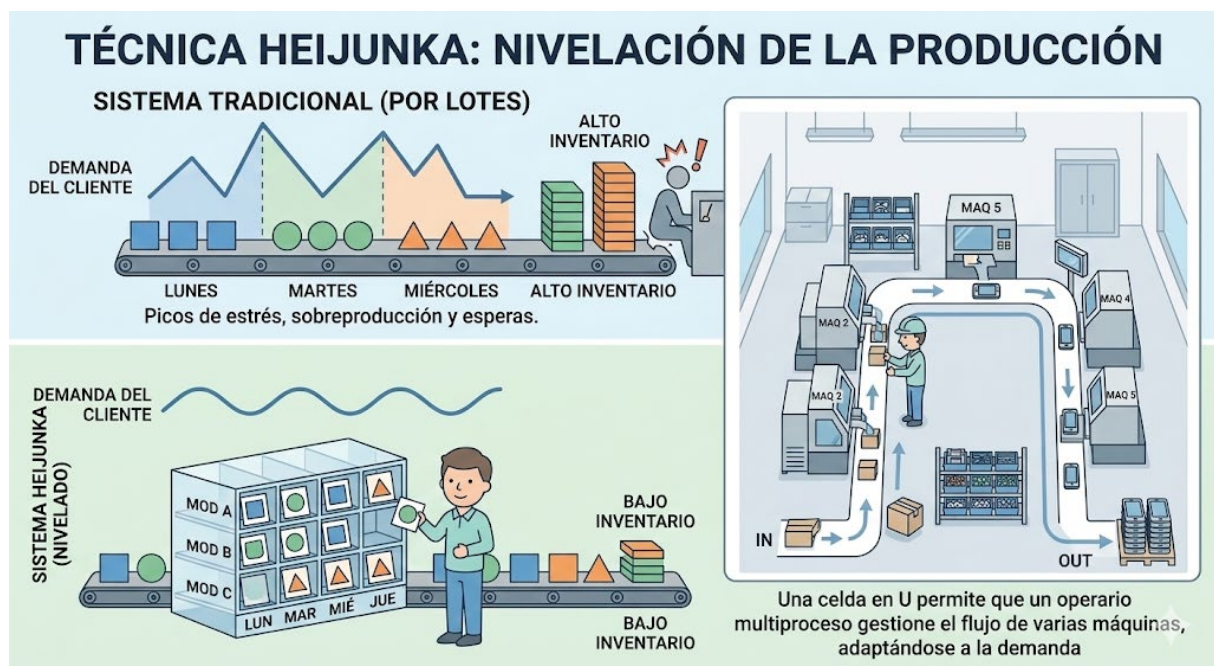
3. **Flujo de Operarios (El Equipo de Pit Stop):** Son las personas, perfectamente preparadas y organizadas.

- **Herramientas:** Sincronizar el trabajo con el **Takt Time** (el ritmo al que el cliente compra el producto), crear **celdas de trabajo flexibles** (máquinas en forma de U para que el operario pueda atender varias), y formar a los operarios para que sean **polivalentes** (sepan hacer varias tareas).

Por ejemplo, un operario en una celda en U puede cargar una materia prima en la máquina A, mientras la máquina B está trabajando, y al finalizar, retirar la pieza terminada. Todo en el mismo ciclo.

Figura 3

Nivelación de la producción



Nota. Una celda en U permite que un operario multiproceso gestione el flujo de varias máquinas, adaptándose a la demanda

En la figura 2. Se muestra la distribución en "U", se puede apreciar un plano de planta limpio de una célula de producción moderna con la forma característica de "U", donde el material entra por la izquierda ("IN") y sale por la derecha ("OUT") en forma de producto terminado. Un operario multiproceso, se ve a un solo operario (un icono de trabajador con casco) moviéndose suavemente por el perímetro interior de la "U". El diagrama muestra de forma secuencial cómo el operario atiende primero a MAQ 2 y luego a MAQ 3. Flexibilidad y Flujo Continuo: El diagrama incluye flechas que marcan el flujo de piezas pequeñas (como los teléfonos) a lo largo de la secuencia, minimizando las distancias de transporte y permitiendo que un solo trabajador gestione todo el flujo.

Cuando logramos implementar el flujo continuo, las ventajas son enormes y se notan en toda la organización:

- Plazos de entrega más cortos: El producto pasa menos tiempo en la fábrica. Lo que antes tardaba una semana, ahora puede tardar un día.
- Menos inventario: Desaparecen los montones de piezas esperando. Esto libera espacio y dinero.
- Calidad a la vista: Si una pieza sale mal, se detecta al instante, en la siguiente operación. No se producen 999 piezas malas antes de darse cuenta [citación:1].
- Mayor flexibilidad: Podemos cambiar de un modelo de producto a otro rápidamente, adaptándonos a lo que el cliente pide en cada momento.
- Puestos de trabajo más ordenados: Con menos inventario dando vueltas, es más fácil aplicar las 5S y mantener un entorno limpio y seguro.

3.5. Producir respecto al Takt Time

3.5.1. Takt Time (TT)

El Takt Time no es una invención caprichosa; es el latido del corazón del cliente trasladado a la fábrica. Proviene del alemán Takt (compás musical). Si la fábrica va más rápido que el Takt, produce exceso de stock; si va más lento, crea cuellos de botella y el cliente no recibe su pedido a tiempo.

"El Takt Time se utiliza para sincronizar el ritmo de la producción con el de las ventas y permite alertar a los operarios cuando están adelantados o retrasados" (Hernández & Vizán, 2013). Es la brújula que nos dice si estamos trabajando a la velocidad adecuada. Según Rajadell Carreras (2010), esto quiere decir que el takt time marca el ritmo de la línea de producción:

- La producción requerida determina el takt time.
- El sistema de operaciones debe construirse a partir del takt time.
- Cada operación se produce una vez y solo una, durante el takt time.

Producir según el *takt time* significa sincronizar el ritmo de la producción con el de las ventas, de manera que se tiene una idea de la velocidad a la cual se debería estar produciendo idealmente para evitar la sobreproducción. El *takt time* también afectará al resto del flujo:

- Número de operarios en la línea.
- Frecuencia de alimentación de la línea.
- Frecuencia de alimentación de la estantería dinámica.
- Número de componentes de proveedor consumidos

Para calcular el *Takt Time*, aplicamos la siguiente relación:

$$Takt\ time = \frac{Tiempo\ Operativo\ Disponible\ por\ Periodo}{Demanda\ del\ cliente\ por\ Periodo} = \frac{tiempo\ de\ trabajo}{produccion\ requerida} = \frac{tiempo\ del\ turno - tiempo\ no\ productivo}{producción + n^{\circ}\ de\ piezas}$$

En la expresión anterior, el “tiempo de trabajo” o tiempo disponible, se mide normalmente en minutos, para flujos de elevado volumen se calcula en segundos. En el caso de una fábrica con una jornada laboral de ocho horas diarias (duración de un turno de trabajo), para calcular el tiempo de producción, se resta de las ocho horas los tiempos correspondientes a paradas programadas normales (tiempo de reuniones al inicio del turno, descansos o desayunos). Por su parte, la “producción requerida” se expresa en unidades diarias y responde a los pedidos de los clientes. Finalmente, cabe mencionar que las piezas *scrap* son las defectuosas que han de despreciarse. A continuación se plantea un ejemplo numérico.

Imaginemos que trabajamos en una planta que produce faros para automóviles. Tenemos que calcular nuestro ritmo para el turno de mañana.

Datos de partida:

- Turno de trabajo: 8 horas (480 minutos).
- Descansos programados: 20 minutos para bocadillo y 10 minutos para limpieza de máquinas.
- Demanda del cliente: 900 unidades al día.

El Tiempo Disponible Real

480 - 30 (paradas) = 450 minutos de trabajo real

450 min · 60 segundos = 27.000 segundos

$$Takt\ time = \frac{27.000\ segundos}{900\ unidades} = 30\ segundos / unidad$$

Cada 30 segundos exactos, un faro terminado debe salir de nuestra línea de producción. Si sale a los 25 segundos, estamos acumulando stock innecesario. Si sale a los 35, el camión del cliente se irá incompleto. La demanda nunca es estática. El Heijunka nos enseña que debemos ser capaces de ajustar nuestro compás. A continuación, presentamos en la tabla nº 3, cómo una empresa debe reaccionar ante las fluctuaciones de la demanda.

Tabla 3

Ejemplo de Aplicación: Línea de Envasado de Aceite Gourmet

Escenario de Mercado	Demanda Diaria (Unid.)	Tiempo Disponible (Seg.)	Takt Time Calculado	Estrategia de Ajuste en Planta
Demanda Baja	450	27.000	60 segundos	Se reduce el número de operarios en la célula en U. Los que quedan asumen más estaciones (trabajo lento pero constante).
Demanda Normal	900	27.000	30 segundos	Configuración estándar de la célula con 3 operarios polivalentes.
Pico de	1.350	27.000	20	Se añaden operarios de refuerzo. Cada

Demanda			segundos	uno hace menos tareas para ir más rápido (especialización temporal).
Crisis / Urgencia	1.800	36.000 (Hora Extra)	20 segundos	Se amplía el tiempo disponible con horas extra para mantener un Takt asumible por las máquinas.

3.5.2. Tiempo de paso (Pitch)

En un mundo ideal, fabricaríamos pieza a pieza (una botella tras otra) sin detenernos nunca. Sin embargo, la logística real a veces nos obliga a ser prácticos. Aquí aparece el Tiempo de Paso, que no es más que el compromiso inteligente entre la eficiencia del flujo y la realidad del transporte interno.

El Tiempo de Paso es el periodo que necesita una operación "aguas arriba" (por ejemplo, el llenado de botellas) para entregar una cantidad conjunta de trabajo a la operación "aguas abajo" (el etiquetado o encajado).

Tiempo de paso = [Takt time] × [Cantidad a entregar conjuntamente]

Como hemos visto en los textos de Rajadell Carreras (2010), los operarios no pueden estar mirando un cronómetro cada 30 segundos; sería estresante e ineficiente. Por eso, agrupamos el *Takt Time* en una unidad de gestión llamada **Pitch**.

Por ejemplo, si nuestro *Takt Time* es de 30 segundos y el embalaje estándar del cliente es una caja de 20 faros:

Pitch = 30 seg/unid · 20 unid/caja = 600 segundos (10 minutos).

Cada 10 minutos exactos, el encargado de logística (llamado a menudo *Mizusumashi* o "corredor de agua") pasa por la célula, retira una caja llena y deja una tarjeta *Kanban* con la orden de producir la siguiente.

"Si se secuencia y se controla cada pitch, se puede responder a problemas rápidamente y así mantener el takt time" (Hernández & Vizán, 2013).

Esta es la verdadera esencia del Heijunka: convertir el caos de los pedidos individuales en un flujo rítmico de "latidos" de 10 minutos. Si a los 10 minutos la caja no está lista, suena una alarma visual (*Andon*). El problema se detecta al instante, no al final del día.

Aplicado al ejercicio, que vamos desarrollando, si el *Takt Time* de tu aceite gourmet es de apenas 0,3 segundos, es físicamente imposible que un operario mueva una sola botella cada vez. En esos casos, trabajamos en **lotes pequeños**. Aunque la utopía Lean es la pieza única, el lote pequeño es nuestro mejor aliado para eliminar despilfarros manteniendo la cordura operativa, las ventajas de este enfoque, son:

- **Control Total:** Es mucho más fácil contar cajas de 10 que botellas sueltas de 1 en 1.
- **Visibilidad de Problemas:** Si un lote se retrasa 5 minutos, la alarma salta de inmediato.
- **Seguridad y Ergonomía:** Los operarios manejan pesos controlados y movimientos estandarizados.

Un error común en las fábricas es confundir el **Tiempo de Ciclo** (lo que tardamos nosotros en hacer el trabajo) con el **Takt Time** (lo que el cliente nos exige). Para que el Heijunka funcione, debemos calcular cuántas personas necesitamos realmente para que nadie esté ocioso ni nadie esté sobrepasado. Continuando con el ejemplo de aplicación de línea de Envasado de Aceite Gourmet (tabla 3), imagina que nuestro proceso de envasado consta de cinco estaciones independientes. Actualmente tenemos a **5 operarios** (uno por estación), pero sospechamos que la línea no está equilibrada.

Tabla 4

Ejemplo de Aplicación: Línea de Envasado de Aceite Gourmet

Operación	Descripción del Trabajo	Tiempo (Seg.)	Tiempo (Min.)
A	Limpieza y soplado de botella	72	1,2
B	Llenado de aceite virgen extra	48	0,8
C	Colocación de tapón y precinto	90	1,5
D	Etiquetado manual "Premium"	72	1,2
E	Encajado y paletizado	36	0,6
TOTAL	Tiempo de Ciclo Total	318	5,3

Si nuestro **Takt Time** (el ritmo que marca el cliente) es de **2 minutos**, podemos calcular el número teórico de operarios necesarios:

$$N^{\circ} \text{ operarios} = \frac{\text{Tiempo de ciclo total}}{\text{Takt time}} = \frac{5,3 \text{ min}}{2,0 \text{ min}} = 2,65 \text{ operarios}$$

El cálculo nos dice que necesitamos **3 operarios** (redondeando al alza para cubrir el 2,65) para satisfacer la demanda del cliente.

Actualmente tenemos a 5 personas trabajando. Si redistribuimos las tareas, por ejemplo, haciendo que el operario que llena las botellas también ayude en el precintado, podríamos liberar a **2 personas** para otras áreas de la bodega donde aporten más valor. Pasar de 5 a 3 operarios supone un **incremento de la productividad del 40%**. Ahora la línea no solo es más barata, sino que está sincronizada. Nadie corre más que el Takt Time y nadie espera de brazos cruzados. Hemos pasado de una línea desequilibrada a una **Célula de Trabajo eficiente**.

3.5.3. Las Pérdidas por Balanceo: El Coste de la Desincronización

En cualquier bodega o planta de envasado, es común encontrar a un operario desbordado de trabajo mientras otro, unos metros más allá, espera a que le llegue la siguiente botella. La verdad es que esto no es culpa de los trabajadores, sino de un mal diseño del proceso. A esto lo llamamos **Pérdidas por Balanceo**.

Estas pérdidas ocurren cuando las operaciones de un sistema no están equilibradas: unos procesos consumen mucho más tiempo que el resto, generando "cuellos de botella", mientras otros disponen de un tiempo ocioso que es, en términos Lean, puro despilfarro (*muda*).

Aplicado al ejemplo que se va desarrollando, recordemos nuestra línea de cinco operaciones (Limpieza, Llenado, Taponado, Etiquetado y Encajado). Si mantenemos a los 5 operarios originales para un **Takt Time de 2 minutos (120 seg)**, las pérdidas de eficiencia son evidentes.

Matemáticamente, si sumamos el tiempo ocioso de cada estación respecto al ritmo que marca el cliente, descubrimos el "tesoro escondido" de la productividad. En nuestro ejemplo anterior, pasamos de 5 operarios a 3. Ese simple rebalanceo nos permite recuperar un **40% de capacidad perdida**, permitiendo que esos dos operarios se dediquen a tareas que realmente aportan valor (como el control de calidad o la gestión de envíos).

3.5.4. Stocks Buffers y de Seguridad

La verdad es que, aunque el ideal del Lean Manufacturing es el "stock cero", la realidad del día a día en una fábrica nos obliga a ser realistas. Para que el sistema Heijunka no se rompa ante el primer imprevisto, necesitamos contar con "colchones" estratégicos. Sin embargo, no todos los inventarios son iguales ni sirven para lo mismo. Es fundamental distinguir entre el Stock Buffer y el Stock de Seguridad. ¿En qué se diferencian realmente?, para que se entiendan de forma visual, podemos definirlo así:

Tabla 5

Diferencia entre Stocks Buffers y de Seguridad

Tipo de Inventario	Definición Técnica	¿Para qué sirve en la práctica?
Stock Buffer	Artículos acabados destinados a cubrir las variaciones en la pauta de pedidos.	Es nuestra protección contra el mercado. Si un cliente pide de golpe más de lo habitual y nuestro <i>Takt Time</i> no puede bajar más, tiramos de este stock para no fallar en la entrega.
Stock de Seguridad	Artículos acabados disponibles para cubrir interrupciones o ineficiencias internas.	Es nuestra protección contra nosotros mismos. Sirve para que el cliente no sufra si una máquina se avería, si hay absentismo laboral o si surge un problema de calidad inesperado.

La voluntad de ofrecer una satisfacción total al cliente nos obliga a mantener estos inventarios. Gracias a ellos, podemos cumplir con las entregas sin tener que recurrir a medidas desesperadas y costosas como las horas extras constantes o los transportes urgentes de última hora. Sin embargo, como bien advierten Hernández y Vizán (2013), debemos tener una mentalidad crítica: los stocks son compromisos temporales. En el fondo, cualquier producto almacenado es un despilfarro (muda) porque es dinero inmovilizado que no está aportando valor.

La estrategia Lean para estos stocks:

- **Revisión Periódica:** No pueden ser estáticos. A medida que nuestros procesos se vuelven más fiables (menos averías, mejor calidad), el Stock de Seguridad debe reducirse.
- **Estabilización de la Demanda:** Conforme mejoramos nuestra relación con los clientes y el Heijunka se asienta, el Stock Buffer debe minimizarse.
- **Hacia la eliminación:** El objetivo final es que la fábrica sea tan ágil y robusta que estos "colchones" sean cada vez más delgados, hasta que idealmente dejen de ser necesarios.

En conclusión, el stock en Heijunka no es una "excusa para relajarse", sino una herramienta de transición. Como dice la filosofía Lean, reducir el stock es como bajar el nivel del agua de un río: solo cuando el agua baja empezamos a ver las rocas (los problemas) y podemos trabajar para eliminarlas definitivamente.

3.6. Nivelar Stocks Buffers y de Seguridad

Esta es la técnica cumbre. Nivelar el **volumen** significa no encargar trabajo de forma aleatoria, sino en unidades pequeñas y consistentes llamadas **Pitch (Paso)**. Por otro lado, nivelar el **mix** significa que, en lugar de fabricar todo el modelo A y luego todo el B, mezclamos la producción para que el flujo sea suave.

El instrumento físico para esto es la **Caja Heijunka** (o casillero de nivelación). En sus ranuras se introducen las tarjetas *Kanban* que indican qué fabricar en cada intervalo de tiempo (por ejemplo, cada 20 minutos). Esto crea una "retirada rítmica" del producto que hace que la fábrica sea predecible y tranquila.

Tabla 6

Ejemplo de Aplicación: Fabricación de Smartphones (Modelos Pro, Standard y Lite)

Día de la Semana	Programación por Lotes (Caótica)	Programación Heijunka (Nivelada)
Lunes	100% Modelo Pro (A)	Secuencia: A - B - C - A - B - C
Martes	100% Modelo Standard (B)	Secuencia: A - B - C - A - B - C
Inventario	Muy alto de A, cero de B y C	Nivel óptimo de los tres modelos
Respuesta a pedido	Si piden el "Lite" el lunes, esperan 48h	Si piden el "Lite", sale uno cada 15 min

Para entender cómo nivelar el mix, analicemos el requerimiento diario de nuestra familia de aceites, una vez que la línea está balanceada, el siguiente reto del Heijunka es decidir qué envasar y en qué orden. No queremos llenar el almacén de "Aceite de Oliva Virgen" si lo que el cliente está pidiendo hoy es "Aceite de Oliva Virgen Extra (AOVE)".

Tabla 7

Planificación de la Producción Nivelada (Mix de Aceites)

Variedad de Aceite	Requerimiento Diario (Botellas)	Cantidad por Caja (Conjunto)	Número de Kanbans (Órdenes)
A: AOVE Cosecha Temprana	300	25	12
B: AOVE Selección	200	25	8
C: Aceite Virgen Extra	200	25	8
D: Aceite Ecológico	50	25	2
E: Edición Especial (Premium)	50	25	2
TOTAL	800	--	32 cajas

Para que la planta no entre en caos, debemos calcular dos cifras mágicas:

1. **Takt Time (Latido del Cliente):** Disponemos de dos turnos (52.800 segundos en total) para fabricar las 800 unidades.
 - *Cálculo:* $52.800 \text{ seg} / 800 \text{ unidades} = \mathbf{66 \text{ segundos por botella.}}$
2. **Tiempo de Paso (Pitch o Ritmo de Caja):** Como envasamos en cajas de 25 botellas, el operario de logística debe retirar una caja terminada a un ritmo constante.
 - *Cálculo:* $66 \text{ seg} \times 25 \text{ botellas} = \mathbf{1.650 \text{ segundos (27,5 minutos).}}$

¿Qué significa esto en la práctica? Significa que cada **27,5 minutos**, nuestra línea de envasado debe entregar una caja de 25 unidades. La pregunta clave es: **¿25 unidades de qué aceite?**

Si miramos los Kanbans (órdenes), la proporción de nuestra producción es **12 : 8 : 8 : 2 : 2**. Para que la producción sea "llana y nivelada", dividimos por el factor común (4) para obtener la secuencia más pequeña posible: **3 : 2 : 2 : 0,5 : 0,5**.

Esto nos dice que la secuencia ideal de trabajo para nuestra bodega sería:

- Envasar **3 cajas** de AOVE Cosecha Temprana (A).
- Envasar **2 cajas** de AOVE Selección (B).
- Envasar **2 cajas** de Virgen Extra (C).
- Envasar **media caja** (o una caja cada dos ciclos) de Ecológico (D) y Especial (E).

La verdad es que, al trabajar así, la bodega deja de fabricar por impulsos. Ya no hacemos "todo el producto A por la mañana y el resto por la tarde". Ahora, cada 27,5 minutos, el equipo sabe exactamente qué variedad de aceite toca envasar, manteniendo el inventario bajo mínimos y la frescura del producto al máximo.

Figura 3

Nivelación de la producción (Heijunka)



Nota. Aplicación de la técnica Heijunka en una planta de envasado de aceite. Se observa la alternancia de productos (AOVE Cosecha Temprana, Selección Especial, Virgen Extra) en la línea de salida, permitiendo un mix de producción nivelado que responde a la demanda real sin acumular stock innecesario.

3.7. Resumen

Esta conclusión no es solo un resumen, sino una reflexión estratégica que conecta el **Heijunka** con la agilidad empresarial moderna, utilizando un lenguaje humano, profesional y citando las fuentes clave (**Rajadell Carreras, 2010; Hernández y Vizán, 2013**).

Al finalizar este recorrido por el Módulo de **Heijunka**, la verdad es que la lección más valiosa que nos llevamos no es solo una fórmula matemática o un diseño de planta en forma de "U". Lo que hemos descubierto es una nueva forma de entender el tiempo y el compromiso con el cliente.

Como hemos visto a lo largo de la unidad, el Heijunka es mucho más que "producción nivelada"; es el mecanismo que permite a una empresa dejar de ser una víctima de las fluctuaciones del mercado para convertirse en un sistema rítmico, predecible y eficiente. Implementar esta metodología supone alcanzar la madurez en el sistema *Lean*, ya que requiere que herramientas previas como las **5S** y el **SMED** funcionen a la perfección. Sin orden y sin cambios rápidos de máquina, la nivelación sería simplemente imposible.

A menudo olvidamos que el caos en la producción tiene un rostro humano: el del operario estresado por los picos de trabajo y el del gestor frustrado por las devoluciones o la falta de stock. El Heijunka humaniza la fábrica. Al estabilizar el ritmo mediante el **Takt Time** y el **Pitch**, devolvemos la calma al taller. Ya no se corre para apagar fuegos, se trabaja para seguir una partitura bien escrita.

Desde el punto de vista financiero, la evidencia es rotunda. Tal como señalan **Rajadell Carreras (2010)** y **Hernández y Vizán (2013)**, la reducción drástica de los inventarios

(especialmente el stock de producto terminado) libera un capital que antes estaba "atrapado" en las estanterías. Una empresa que domina el Heijunka es una empresa con mayor liquidez y una capacidad de reacción que la competencia, anclada en lotes gigantescos, simplemente no puede igualar.

La "utopía" del flujo pieza a pieza, donde cada producto se fabrica exactamente cuando se pide, está hoy un paso más cerca. Aunque hemos aprendido que en el camino necesitamos apoyarnos en **Stocks Buffers y de Seguridad**, la filosofía Lean nos invita a no acomodarnos. El Heijunka nos obliga a mirar de frente nuestras ineficiencias: cada vez que el agua del stock baja, aparece una roca que debemos eliminar.

En definitiva, enseñar Heijunka es enseñar resiliencia. En un mundo globalizado donde la demanda cambia en cuestión de horas, el "trabajo llano y nivelado" no es solo una opción técnica; es la única garantía de supervivencia para la industria del siglo XXI. El reto para los futuros profesionales que hoy estudian esta unidad será mantener ese ritmo, pulir esos procesos y, sobre todo, no dejar nunca de buscar la perfección en el flujo de valor.

3.8. Bibliografía

- Hernández, J. C., y Vizán, A. (2013). *Lean Manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación*. Fundación EOI.
- Marchwinski, C., Shook, J., y Schroeder, A. (2003). *Lean Lexicon: A Graphical Glossary for Lean Thinkers*. Lean Enterprise Institute.
- Rajadell Carreras, M., y Sánchez García, J. L. (2010). *Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad*. Ediciones Díaz de Santos.
- Womack, J. P., y Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Free Press.

Capítulo 4. Herramientas Lean: Kanban

4.1.	Introducción.....	66
4.2.	Definición.....	67
4.3.	Objetivos.....	67
4.4.	Tipos de tarjeta en Kanban.....	68
4.5.	La Infraestructura Física: Contenedores y Casilleros.....	69
4.6.	Funcionamiento sistema Kanban.....	70
4.7.	Ejemplo práctico: El sistema de los "Cuadrados en el Suelo".....	71
4.7.1.	El Cálculo Técnico: ¿Cuántos Kanbans necesitamos?.....	72
4.7.2.	¿Qué pasa si los operarios están parados?.....	72
4.7.3.	¿Cómo calcular el número de Kanbans?.....	74
4.7.4.	¿Cuántas tarjetas necesitamos? El cálculo del flujo.....	77
4.8.	Cálculo del Kanban de Transporte: La Logística del "Justo a Tiempo".....	78
4.9.	Consecuencias del sistema Pull mediante Kanban.....	80
4.10.	Suministro y recogida mediante Cinta Transportadora (Flujo Continuo).....	80
4.11.	Nivelación de la Producción: El "Contrato" Logística-Producción.....	81
4.12.	Entregas Frecuentes: Extendiendo el Pull a los Proveedores.....	82
4.13.	Relación con los Proveedores: De simples vendedores a Socios Estratégicos...	84
4.14.	Resumen.....	86
4.15.	Bibliografía.....	87

4.1. Introducción

La verdadera revolución del Lean Manufacturing no ocurrió dentro de los despachos de ingeniería, sino en los pasillos de un supermercado. Para entender el **Kanban**, primero debemos comprender la frustración de los ingenieros japoneses de la posguerra, quienes veían cómo los sistemas de producción masiva americanos generaban montañas de inventario que nadie compraba.

A mediados de la década de los 50, Taiichi Ohno, considerado el padre del Sistema de Producción Toyota, realizó un viaje a Estados Unidos. Allí quedó fascinado no por las fábricas de Ford, sino por los supermercados. Observó un comportamiento lógico y sencillo: el cliente solo retiraba lo que necesitaba y el estante se reponía solo cuando estaba vacío.

Como explica Ohno (1988), la idea de conectar el supermercado con la fábrica era la pieza que faltaba para el *Just-in-Time*. En una fábrica tradicional, cada proceso "empuja" (*Push*) su producción al siguiente, sin importar si este la necesita o no. Ohno decidió invertir la lógica: el proceso posterior (el cliente) debe ir al proceso anterior (el supermercado) a retirar exactamente lo que necesita en el momento justo.

Ohno pensó: "¿Por qué no tratamos a la fábrica como un supermercado?". Así nació la idea de "**tirar**" (**Pull**) de la producción en lugar de "empujarla" (*Push*). En el sistema tradicional, la fábrica produce según una previsión (a veces errónea); en el sistema Kanban, la fábrica produce porque el proceso siguiente "le ha pedido" material, "el sistema Kanban es la herramienta para gestionar el método Pull. Es un sistema de información completo que controla de manera armónica la fabricación de los productos necesarios, en la cantidad y tiempo adecuados" (Hernández & Vizán, 2013).

Si el Heijunka es el "ritmo" o corazón de la producción, el Kanban es su **sistema nervioso**. Es el encargado de enviar señales eléctricas (información) desde las puntas de los dedos (el cliente final) hasta los músculos (la producción). Sin estas señales, la fábrica estaría ciega, produciendo a ciegas basándose en suposiciones de marketing que a menudo fallan.

La implementación del Kanban en Toyota en 1975 no fue solo una mejora técnica, sino un cambio cultural. Se pasó de un sistema basado en el "por si acaso" (*just-in-case*) a un sistema basado en el "justo lo que se necesita" (*just-in-time*). Esta transición es lo que permitió a Toyota superar a sus competidores, reduciendo drásticamente los costes de almacenamiento y mejorando la calidad, ya que al no haber stock acumulado, los errores se detectaban al instante.

Aunque originalmente el Kanban se materializó en tarjetas de cartón dentro de fundas de plástico, la esencia de la herramienta es la **señal visual**. Como señalan Rajadell Carreras y Sánchez García (2010), el pensamiento Lean busca que la planta "hable" por sí sola. Hoy en día, un Kanban puede ser:

- Una tarjeta física (clásica).
- Un contenedor vacío (Kanban de contenedor).
- Una marca pintada en el suelo (Kanban de suelo).

- Una señal electrónica en una pantalla (e-Kanban).

Independientemente del formato, el principio es inmutable: **si no hay señal de demanda, no hay actividad**. Esta disciplina es la que garantiza que el flujo de materiales se sincronice perfectamente desde los proveedores externos hasta la línea de montaje final.

4.2. Definición

La palabra japonesa Kanban significa literalmente "tarjeta" o "señal visual". En la práctica, es un sistema de control y programación sincronizada que utiliza señales para que cada proceso retire los componentes que necesita de los procesos anteriores. Imagínatelo como un relevo en una carrera: nadie corre hasta que no recibe el testigo. El flujo de materiales se sincroniza desde los proveedores hasta la línea de montaje final.

Como indica Manuel Rajadell Carreras y José Luis Sánchez García (2010): "El flujo *pull* significa que el material se sustituye en el proceso al mismo ritmo que se consume. El sistema "*pull*" se refiere a dos cosas, el flujo físico en el que se tira del material en vez de empujarlo por el sistema, lo que se conoce como "*pull flow*", y el procedimiento que se utiliza para indicar cuándo se necesita más material entre líneas y procesos separados se conoce como Kanban".

Implementar señales Kanban (el famoso sistema *Pull*) no es solo una cuestión de estética o de poner tarjetas de colores en la fábrica. El objetivo real es transformar el caos en un flujo ordenado y eficiente. Como señalan **Hernández y Vizán (2013)**, este sistema busca sincronizar la fabricación con la demanda real, evitando que la empresa gaste recursos en productos que nadie ha pedido todavía.

4.3. Objetivos

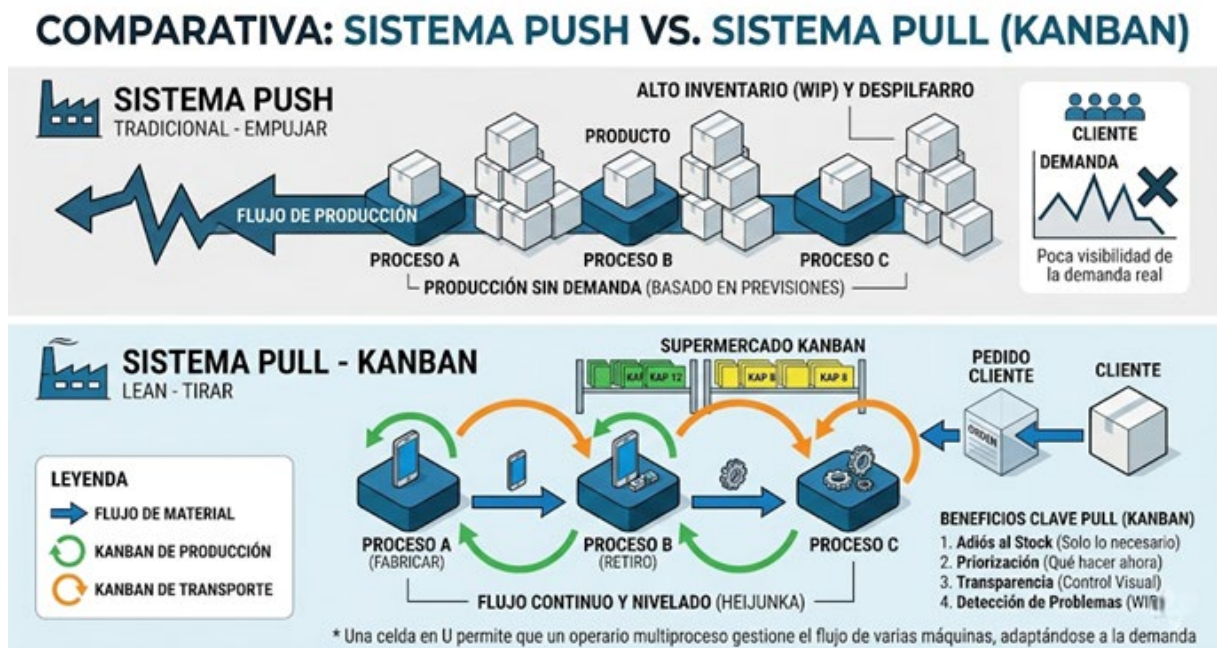
Los objetivos principales que se persigue con el sistema Kanban, son:

- **Adiós al papeleo innecesario:** Simplifica las tareas administrativas. Ya no hace falta que una oficina central lance órdenes de fabricación complejas cada hora; el propio flujo de tarjetas entre departamentos le dice a los proveedores y a los operarios qué necesitan sin necesidad de burocracia pesada.
- **Reducción inteligente de Stocks:** El Kanban actúa como un regulador. Consigue que cada trabajador fabrique **solo lo que el proceso siguiente ha retirado**. Así, la producción coincide siempre con las necesidades reales del momento, evitando almacenes llenos de material parado.
- **Hacer visibles los problemas:** En el Lean, decimos que el inventario es como el agua que oculta las rocas de un río. Al reducir el stock gracias al Kanban, los problemas (como máquinas que fallan, cuellos de botella o piezas defectuosas) "salen a la superficie" rápidamente, obligando al equipo a resolverlos de inmediato en lugar de ignorarlos (Rajadell Carreras & Sánchez García, 2010).
- **Control Visual Total:** Implementa un sistema donde cualquiera, con un simple vistazo a los paneles de tarjetas, puede saber si la producción va bien, si falta material o si hay algún retraso. Es la gestión "a golpe de vista".

- **Equilibrio y Flujo Continuo:** Facilita que la producción no se detenga. Al estar todos los procesos conectados por señales *Pull*, se consigue que la fábrica trabaje de forma nivelada, equilibrando la carga de trabajo entre todas las estaciones de la línea.

Figura 1

Comparativa Sistema "push" y sistema pull (Kanban)



4.4. Tipos de tarjeta en Kanban

En el corazón del sistema Lean, la información se mueve a través de dos tipos de señales principales. Aunque pueda parecer un sistema doblemente complejo, su separación es vital para identificar y controlar el transporte, una actividad que, como sabemos, no añade valor al producto pero es necesaria para el flujo. Para que el sistema no sea un caos, se distinguen fundamentalmente dos tipos de tarjetas:

- **Kanban de Transporte:** Es una autorización para mover material. Indica qué cantidad y qué producto se debe retirar del proceso anterior (el "supermercado" de piezas) para llevarlo al proceso actual. Estas tarjetas se mueven **entre dos áreas de trabajo distintas**. Su función es comunicar al "Proceso S" (Suministrador) que el "Proceso W" (Cliente interno) necesita retirar una cantidad específica de componentes. Es la autorización legal para mover material de un lugar a otro, es el mensajero entre procesos.
- **Kanban de Producción:** Es una orden de trabajo. Indica al proceso anterior qué debe fabricar y en qué cantidad para reponer lo que acaba de ser retirado. Estas tarjetas se mueven **dentro de un mismo lugar de trabajo**. Funcionan como una orden de fabricación interna: le dicen a la máquina o al operario qué debe empezar a producir ahora mismo para reponer lo que acaba de salir de su estación.

Tabla 1

Tipos de tarjeta Kanban

Tipo de Kanban	Función Principal	Analogía
Transporte	Autoriza el movimiento	El carrito de la compra.
Producción	Autoriza la fabricación	La orden de cocina en un restaurante.

En la siguiente imágenes, se puede apreciar Kanban del transporte

Figura 2

Ejemplo de Kanban de transporte



4.5. La Infraestructura Física: Contenedores y Casilleros

Para que las tarjetas no se pierdan y el sistema sea visual, la planta debe estar preparada con elementos físicos específicos:

1. **Contenedores Estandarizados:** Todo el material viaja en cajas o carros con una capacidad fija. La tarjeta siempre especifica esa cantidad exacta (por ejemplo: "Caja de 25 botellas").
2. **Casilleros de Tarjetas (Paneles Kanban):** Al inicio y al final de cada proceso, existen casilleros (figura 2) donde se depositan las tarjetas. La posición de la tarjeta en el casillero determina su función:
 - **En el inicio del proceso:** Una tarjeta aquí indica que tenemos un contenedor vacío. El operario la coloca en ese contenedor y la envía al proceso anterior para solicitar más componentes.

- **Al final del proceso:** Una tarjeta aquí indica que el contenedor está lleno de producto terminado. Se asigna a la caja para que el proceso siguiente pase a recogerla.

Aunque el sistema de dos tarjetas es el más robusto para distancias largas, el Lean siempre busca la máxima simplicidad. Por ello, existen variantes según la cercanía de los procesos:

- **Sistema de Tarjeta Única:** Se utiliza cuando el área de suministro y la de consumo están muy próximas. En este caso, la misma tarjeta que sirve para recoger el material actúa directamente como orden de producción para el proceso anterior. Es ideal cuando el tiempo de fabricación (*Lead Time*) es muy corto.
- **Kanban Túnel:** Es la expresión máxima de la simplificación. Se emplea cuando varios procesos están enlazados secuencialmente de forma tan estrecha que funcionan como un "único gran proceso". En este escenario, una sola señal gobierna todo el túnel de fabricación.

4.6. Funcionamiento sistema Kanban

Para entender el sistema Kanban, debemos visualizar la fábrica como un conjunto de piezas de dominó que caen hacia atrás. En lugar de que el primer proceso empuje el material, es el **último proceso** el que inicia el movimiento al recibir un pedido del cliente.

Imagina una línea de producción dividida en estaciones. Cuando la última estación entrega un producto terminado, genera un "vacío" de información que se propaga hacia atrás. Este mecanismo asegura que nadie fabrique nada si no hay una demanda real que lo justifique.

La comunicación entre estaciones se realiza mediante tarjetas plastificadas. No son simples trozos de papel; son órdenes de trabajo que contienen ADN logístico:

- **Denominación y código:** ¿Qué estamos fabricando?
- **Procedencia y Destino:** ¿De dónde viene y a qué centro de trabajo va?
- **Cantidad:** ¿Cuántas piezas van en este contenedor?
- **Ubicación de almacenamiento:** ¿Dónde se debe dejar cuando esté lleno?

En el Lean Manufacturing, el material no se mueve de cualquier manera. Se utilizan contenedores estandarizados (metálicos o plásticos). Una regla de oro, inspirada en Toyota, es que ningún contenedor debe superar el **10% de la demanda diaria**. Esto obliga a mover lotes pequeños, lo que agiliza el flujo y hace que cualquier error de calidad se detecte de inmediato.

Continuando con el ejemplo que vamos desarrollando de la línea de envasado de aceite gourmet, vamos a aplicar esta lógica, supongamos que tenemos cuatro estaciones clave:

Tabla 2

Línea de Envasado de Aceite Gourmet

Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
------------	------------	------------	------------

Soplado de botellas	Llenado de aceite	Taponado y precinto	Etiquetado y Encajado
---------------------	-------------------	---------------------	-----------------------

¿Cómo se activa el sistema?

- **El Disparador:** Un cliente compra 10 cajas de aceite. La **Estación 4 (Etiquetado)** retira 10 cajas del almacén de producto terminado.
- **La Señal:** Al retirar las cajas, los operarios de la Estación 4 despegan las **Tarjetas Kanban de Producción** y las envían a la **Estación 3 (Taponado)**. Es su forma de decir: "He gastado 10 cajas, necesito que me prepares otras 10".
- **La Reacción en Cadena:** La Estación 3, para poder trabajar, pide botellas llenas a la **Estación 2 (Llenado)**, y esta a su vez pide botellas limpias a la **Estación 1**.

Realizando el símil de la filosofía del supermercado, aplicada al aceite, igual que en un supermercado donde el reponedor solo pone leche en el estante cuando ve que un cliente se ha llevado un brik:

- **Autonomía:** El operario de etiquetado "elige" su material del proceso anterior.
- **Eficiencia:** Solo reponemos el aceite que se ha vendido, reduciendo el stock excedente.
- **Seguridad:** En lugar de adivinar cuánto venderemos mañana (previsión), fabricamos lo que se vendió hoy (reposición).

"El objetivo es eliminar los stocks de artículos acabados, reconvirtiendo el proceso hacia la producción contra pedido" (Hernández & Vizán, 2013). Aunque la tarjeta es lo más común porque permite escribir mucha información, en entornos simples se pueden usar otras señales creativas, por ejemplo:

- **Cajas vacías:** El propio contenedor vacío devuelto es la orden de llenado.
- **Cuadrantes en el suelo:** Si el cuadrado pintado en el suelo está vacío, hay que fabricar.
- **Pelotas de golf:** En algunas fábricas (como Kawasaki), se usan pelotas de colores que ruedan por tubos para indicar qué modelo fabricar a continuación.

4.7. Ejemplo práctico: El sistema de los "Cuadrados en el Suelo"

Para no perdernos entre procesos, vamos a explicarlo con una analogía visual de nuestra planta de aceite y el concepto de "los cuadrados en el suelo". Imagina que entre la **Estación A (Llenado de botellas)** y la **Estación B (Etiquetado)** no hay estanterías, sino simplemente 3 cuadrados pintados en el suelo. Cada cuadrado es un **Kanban** y tiene capacidad para 4 botellas. La Regla de Oro, si el cuadrado está lleno, nadie trabaja. A continuación, vemos cómo fluye la producción en 4 pasos, como se muestra en la tabla 3:

Tabla 3

Línea de Envasado de Aceite Gourmet

Estado	Acción del Proceso	Resultado Visual
1. Reposo	No hay pedidos del cliente.	Los 3 cuadrados están llenos (12 botellas en total). Los operarios A y B están parados.
2. Consumo parcial	El operario B coge 3 piezas para un pedido pequeño.	El primer cuadrado aún tiene 1 pieza. El operario A sigue parado porque el Kanban no se ha liberado del todo.
3. Disparo (Pull)	Llega un pedido de 4 unidades. El operario B vacía el primer cuadrado.	Al quedar el cuadrado vacío , el operario A recibe la señal visual: "¡Necesito que rellenes este hueco!".
4. Retorno al equilibrio	El operario A fabrica las 4 unidades y llena el cuadrado.	Una vez lleno, el operario A se detiene de nuevo. El sistema vuelve a estar en equilibrio.

Este sistema sigue estrictamente el principio **FIFO** (*First-In, First-Out*): siempre se consume primero lo que primero llegó al suelo, garantizando la frescura del aceite.

4.7.1. El Cálculo Técnico: ¿Cuántos Kanbans necesitamos?

Aunque en Toyota empezaron usando el "ensayo y error" (tardaron 10 años en perfeccionarlo), hoy utilizamos una fórmula matemática para que los directivos puedan planificar con precisión. Para calcular el **número de tarjetas o cuadrados necesarios (N)**, usamos la siguiente fórmula:

$$N = \frac{DxLx(1 + S)}{c}$$

Donde:

D (Demanda): Cantidad de productos que pide el cliente por unidad de tiempo.

L (Lead Time): Tiempo que tarda el proceso anterior en reponer un lote.

S (Stock de Seguridad): Un coeficiente (ej. 0.1 o 10%) para protegernos de imprevistos.

C (Capacidad): Cuántas unidades caben en cada contenedor o cuadrado.

4.7.2. ¿Qué pasa si los operarios están parados?

Esta es la pregunta que más pone nerviosos a los jefes de fábrica tradicionales. Si el Kanban está lleno y los operarios A y B no tienen nada que hacer, la tendencia natural es decirles: "¡Seguid fabricando para tener stock!".

¡Error! En Lean Manufacturing, si no hay pedido, estar parado es la decisión más rentable. Producir sin pedido reduce la **Rentabilidad Económica (ROI)** porque:

1. Aumenta el inventario (dinero inmovilizado).
2. Ocupa espacio innecesario.
3. Oculta problemas de calidad.

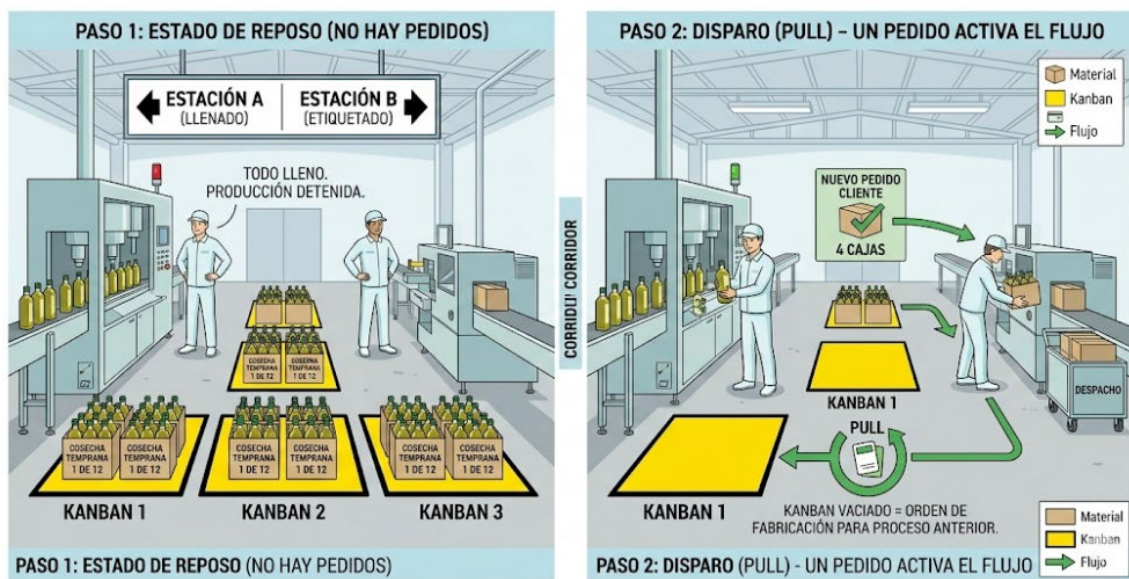
¿Qué hacen los operarios mientras esperan? En lugar de sobreproducir, el tiempo de espera se dedica a:

- **Mantenimiento Preventivo:** Limpiar y revisar las máquinas.
- **Formación:** Aprender nuevas tareas (polivalencia).
- **Kaizen:** Pensar cómo mejorar el proceso para que la próxima vez sea más rápido

En la figura 3, se aprecia una línea de producción de aceite donde se ven dos estaciones con cuadrados amarillos en el suelo que actúan como señales Kanban.

Figura 3

Flujo visual entre estaciones A y B: sistema cuadrados amarillos en el suelo



En esta configuración, los cuadrados pintados en el suelo limitan físicamente el inventario. El operario A solo recibe la orden de fabricación cuando el operario B deja un cuadrado totalmente libre al retirar material para el cliente.

Imagina que en nuestra bodega de aceite no usamos tarjetas de papel, sino **tres cuadrados pintados en el suelo** entre la Estación A (Llenado) y la Estación B (Etiquetado). Cada cuadrado es un **Kanban** y tiene capacidad para **4 botellas**. La Regla de Oro: "Si no hay hueco, no se trabaja"

Para entender cómo funciona el flujo *Pull* (tirar), sigamos este proceso paso a paso:

1. **Estado de Reposo:** Los 3 cuadrados están llenos (12 botellas en total). Como no hay pedidos del cliente, los operarios A y B están parados. **Filosofía Lean:** Es mejor estar parado que producir aceite que nadie ha comprado.

2. **Consumo Parcial:** El operario B coge 3 botellas para una pequeña muestra. El primer cuadrado todavía tiene 1 botella. **El operario A sigue parado** porque el Kanban no se ha liberado completamente (no hay un cuadrado vacío).
3. **El Disparo (Pull):** Llega un cliente y pide 4 botellas. El operario B vacía el primer cuadrado. Al quedar el **cuadrado vacío**, el operario A recibe la señal visual inmediata: "¡Tengo un hueco, debo fabricar 4 botellas para rellenarlo!".
4. **Sincronización:** El operario A fabrica las 4 piezas, llena el cuadrado y se detiene de nuevo. El sistema vuelve a estar en equilibrio.

Este sistema garantiza el flujo **FIFO** (*First-In, First-Out*). Siempre se consume primero lo que se fabricó antes, asegurando la frescura del producto.

4.7.3. ¿Cómo calcular el número de Kanbans?

Como hemos visto, el Kanban no es una suposición. Es un número calculado para asegurar que el área de trabajo siempre tenga piezas, evitando dos grandes enemigos: el **exceso de stock** (dinero tirado) y la **rotura de stock** (fábrica parada).

El objetivo es tener las piezas suficientes para trabajar mientras el siguiente lote se está preparando. Para calcular cuántas tarjetas (o contenedores) necesitamos, usamos esta fórmula:

$$\text{Número de Kanbans (K)} = \frac{D \cdot Q \cdot R}{H \cdot P}$$

Donde:

D (Demanda): Número de productos finales que debemos producir por turno.

Q (Cantidad por producto): Cuántas piezas de ese tipo lleva cada producto (según la lista de materiales o BOM).

R (Tiempo de reposición): Cuántas horas tardamos en recibir un nuevo suministro desde que lanzamos el pedido (Lead Time).

H (Horas productivas): Horas reales de trabajo por turno (restando descansos, desayunos y paradas programadas).

P (Piezas por paquete): Capacidad del contenedor. Cuántas unidades vienen en cada caja o lote.

Ejemplo Práctico: Los Tapones de la Botella Gourmet

Imagina que en nuestra envasadora de aceite producimos **400 botellas de AOVE al día**. Vamos a calcular cuántos Kanbans necesitamos para los **tapones dorados** de edición especial.

Los datos son:

- **Demanda diaria (D):** 400 botellas.

- **Cantidad por producto (Q):** 1 tapón por botella.
- **Tiempo de reposición interno (R):** 3 horas (lo que tarda el almacén central en traer una caja a la línea).
- **Horas de trabajo (H):** 8 horas por turno.
- **Piezas por paquete (P):** El proveedor nos envía los tapones en cajas de 50 unidades.

Cálculo:

$$\text{Número de Kanbans (K)} = \frac{400 \cdot 1 \cdot 3}{8 \cdot 50} = 3 \text{ Kanbans}$$

Esto significa que para que la línea nunca se pare, debemos tener 3 tarjetas (o 3 cajas) circulando entre el almacén y la línea de envasado, pero, ¿qué pasa si el proveedor es externo y tarda más?. Supongamos que esos mismos tapones ahora vienen de un proveedor externo que, tras hacerle el pedido, tarda 48 horas en entregarlos (2 días completos).

Nuevo cálculo con R = 48: Número de Kanbans (K) = $\frac{400 \cdot 1 \cdot 48}{8 \cdot 50} = 48 \text{ Kanbans}$

Si, observamos la diferencia:

- **Suministro interno (3 horas):** Solo necesitamos 3 cajas en movimiento.
- **Suministro externo (48 horas):** ¡Necesitamos 48 cajas!

La lección es clara: Si queremos reducir el inventario en la fábrica (tener menos cajas estorbando), nuestra prioridad número uno no es comprar máquinas más rápidas, sino **reducir el tiempo de reposición (R)**. Cuanto más rápido nos reabastezcan, menos stock necesitaremos acumular.

La fórmula del Kanban demuestra que el nivel de inventario es directamente proporcional al tiempo de respuesta del proveedor. Reducir el *Lead Time* es la clave para una fábrica más limpia y eficiente.

En la siguiente tabla 4, se muestra un resumen de parámetros según el modelo, una tabla de comparativa:

Tabla 4

Resumen de parámetros según el modelo (Tabla comparativa)

Concepto	Término Toyota	Término Moderno
Demanda	DMU (Demanda por unidad de tiempo)	U (Ritmo de uso)
Tiempo de espera	TR (Tiempo de reposición)	T (Tiempo de ciclo)

Seguridad	CS (Coeficiente de seguridad)	P (Factor de eficiencia)
Tamaño del lote	CC (Capacidad del contenedor)	C (Capacidad estándar)

Ejemplo: "Optimización del Inventario en "Aceites El Olivar"

Eres el responsable de producción de la línea de **AOVE Selección Especial**. Actualmente, la línea tiene un problema: a veces los operarios se quedan sin **cápsulas de seguridad** (el precinto de plástico que va sobre el tapón) y la máquina tiene que parar, perdiendo tiempo valioso.

Tu misión es calcular el número exacto de tarjetas Kanban necesarias para que el flujo sea perfecto.

Datos de la planta:

- Demanda diaria (D): La línea debe envasar 600 botellas por turno.
- Cantidad por producto (Q): Cada botella lleva 1 cápsula.
- Horas reales de trabajo (H): El turno es de 8 horas, pero restando descansos y limpieza, el tiempo productivo real es de 7,5 horas.
- Capacidad del contenedor (P): El almacén entrega las cápsulas en cajas pequeñas de 40 unidades.
- Tiempo de reposición (R): Desde que el operario devuelve una tarjeta al almacén, el carretillero tarda 2 horas en traer una caja nueva.

Calcula el número de Kanbans (K) necesarios para el suministro interno. Reflexión crítica: Si el proveedor externo de cápsulas tarda 3 días (22,5 horas productivas) en reponer el material, ¿cuántos Kanbans necesitaríamos en total para el almacén exterior?

Solución: Para resolver el ejercicio, aplicamos la fórmula aprendida:

$$\text{Número de Kanbans (K)} = \frac{D \cdot Q \cdot R}{H \cdot P}$$

Sustituimos los valores con los datos del enunciado:

$$D = 600$$

$$Q = 1$$

$$R = 2$$

$$H = 7,5$$

$$P = 40$$

$$K = \frac{600 \cdot 1 \cdot 2}{7,5 \cdot 40} = 4 \text{ Kanbans}$$

Necesitamos 4 tarjetas (o 4 cajas) en rotación constante entre la línea y el almacén interno.

Cálculo del suministro externo (Proveedor): Si el tiempo de reposición sube a 22,5 horas:

$$R = 22,5$$

$$K = \frac{600 \cdot 1 \cdot 22,5}{7,5 \cdot 40} = 45 \text{ Kanbans}$$

Para el proveedor externo necesitaríamos 45 cajas en stock.

Conclusión: Con 4 cajas, el taller se ve limpio y ordenado, con 45 cajas, el taller parecería un almacén logístico lleno de palés estorbando. El stock no es un problema de espacio, es un problema de tiempo. Si quieres menos cajas, tienes que conseguir que el material llegue más rápido.

4.7.4. ¿Cuántas tarjetas necesitamos? El cálculo del flujo

Calcular el número de tarjetas Kanban es, en esencia, decidir cuánto inventario permitimos que haya entre dos procesos. Si ponemos muchas tarjetas, el almacén se llena; si ponemos muy pocas, la línea se detiene. Aunque existen varias fórmulas (como la clásica de Toyota), todas buscan lo mismo: cubrir la demanda durante el tiempo que tardamos en reponer el material, añadiendo un pequeño "colchón" de seguridad. La Fórmula de la Eficiencia (Propuesta de Gaither & Frazier) Esta es una de las versiones más utilizadas hoy en día por su claridad académica. Nos ayuda a calcular el número de contenedores o tarjetas (N):

$$N = \frac{U \cdot T \cdot (1+P)}{C}$$

Donde los parámetros son:

- **U (Ritmo de uso):** Cuántas piezas consume la estación "cliente" por hora.
- **T (Tiempo de ciclo):** El tiempo total que tarda un contenedor en dar la vuelta completa (salir lleno, vaciarse, regresar, llenarse de nuevo y volver a salir).
- **P (Coeficiente de eficiencia/seguridad):** Mide qué tan "perfecto" es nuestro sistema.
 - Si P = 0: Eficiencia perfecta (sin fallos).
 - Si P = 1: Ineficiencia pura (necesitamos mucho colchón).
 - Normalmente se usa un valor decimal (ej. **0,25**).
- **C (Capacidad):** Cuántas unidades caben en cada contenedor estándar.

Ejemplo Práctico: Las Etiquetas del Aceite Gourmet

Imagina que en nuestra envasadora tenemos dos estaciones pegadas: la Estación de Llenado (que produce) y la Estación de Etiquetado (que consume).

Datos del caso:

Ritmo de uso (U): La etiquetadora consume 175 etiquetas por hora.

Capacidad (C): Cada rollo de etiquetas (nuestro contenedor/Kanban) tiene 100 etiquetas.

Tiempo de ciclo (T): Se tardan 1,10 horas en que un rollo vacío sea reemplazado por uno nuevo lleno.

Eficiencia (P): Estimamos una eficiencia de 0,25 (un 25% de margen de seguridad para evitar sustos).

Aplicamos la fórmula:

$$N = \frac{175 \cdot 1,10 \cdot (1+0,25)}{100} = \frac{240,625}{100} = 2,406$$

Como no podemos tener "2,4 tarjetas", siempre debemos redondear hacia arriba. Por lo tanto, necesitaremos 3 contenedores (o 3 tarjetas). ¿Por qué redondeamos hacia arriba?, al redondear a 3, estamos creando una pequeña holgura de seguridad. En Lean, es preferible tener un contenedor extra que arriesgarse a que la máquina se pare porque el "ritmo de uso" aumentó ligeramente o el operario tardó un minuto más en traer el material.

4.8. Cálculo del Kanban de Transporte: La Logística del "Justo a Tiempo"

Mientras que el Kanban de producción autoriza a fabricar, el **Kanban de transporte** autoriza a mover material entre el almacén y la línea. Para calcular cuántas tarjetas de transporte necesitamos, usamos la siguiente lógica:

$$N_{transporte} = \frac{NL+NT+NS}{E}$$

Para que no falte material, debemos cubrir tres necesidades:

1. **NL (Necesidad por Lote):** Es el número de piezas del lote mínimo (si es que el proveedor nos obliga a pedir una cantidad mínima).
2. **NT (Necesidad por Tiempo de Transporte):** Son las piezas que la máquina va a consumir mientras el transporte está "en camino". Se calcula dividiendo el tiempo que tarda el transporte (TT) entre lo que tarda la máquina en gastar una pieza (Tcc).
 - Fórmula: $NT = \frac{TT}{Tcc}$
3. **NS (Necesidad de Seguridad):** Es el "colchón" extra por si el carretillero se retrasa. Se calcula dividiendo el tiempo de seguridad deseado (TS) entre el tiempo de ciclo de la pieza (Tcc).

- Fórmula: $NS = \frac{TS}{Tcc}$

Todo esto se divide por **E**, que es el **número de piezas que caben en cada contenedor**

Continuando con el ejemplo que se va desarrollando, imagina que nuestra máquina de llenado de aceite es muy rápida y el almacén de botellas vacías está en otra nave. Queremos saber cuántas tarjetas de transporte (o palés en tránsito) necesitamos.

Datos de la línea:

- **Velocidad de la máquina (Tcc):** Gasta una botella cada **0,01 horas** (es decir, 36 segundos).
- **Tiempo de transporte (TT):** El carretillero tarda **2 horas** en ir al almacén, cargar y volver.
- **Lote mínimo (NL):** No hay lote mínimo, podemos pedir lo que queramos (NL = 0).
- **Stock de seguridad (TS):** Queremos tener un margen de **1 hora** extra por si hay tráfico en la fábrica.
- **Capacidad del contenedor (E):** En cada palé (contenedor) caben **100 botellas**.

Paso 1: Calculamos las piezas para cubrir el transporte (NT)

$$NT = \frac{2 \text{ horas (transporte)}}{0,01 \text{ horas (por botella)}} = 200 \text{ botellas}$$

Paso 2: Calculamos las piezas de seguridad (NS)

$$NS = \frac{1 \text{ hora (seguridad)}}{0,01 \text{ horas (por botella)}} = 100 \text{ botellas}$$

Paso 3: Aplicamos la fórmula final

$$N_{\text{transporte}} = \frac{0 (NL) + 200 (NT) + 100 (NS)}{100 (E)}$$

$$N_{\text{transporte}} = \frac{300}{100} = 3 \text{ Kanbas de transporte}$$

Por lo tanto, necesitamos **3 tarjetas de transporte**. Esto significa que en todo momento habrá:

- 1 palé en la máquina siendo usado.
- 1 palé viajando del almacén a la línea.
- 1 palé de reserva (seguridad) o regresando vacío.

Si intentamos trabajar con solo 2 tarjetas, en cuanto el carretillero se retrase un poco, la máquina se quedará sin botellas y tendremos un **parón de producción**.

4.9. Consecuencias del sistema Pull mediante Kanban

Implementar un sistema Pull es como cambiar el sistema de riego de una parcela: pasas de inundarlo todo de golpe (Push) a un sistema de goteo preciso (Pull). Esta transformación no ocurre de forma aislada, sino que obliga a la empresa a reorganizarse en tres áreas clave: la logística interna, la planificación de la producción y la relación con los proveedores.

Como señalan Hernández y Vizán (2013), la verdadera potencia del Kanban no reside en la tarjeta en sí, sino en la disciplina operativa que impone en toda la cadena de valor.

4.10. Suministro y recogida mediante Cinta Transportadora (Flujo Continuo)

En el sistema tradicional, un carretillero movía grandes palés de material una vez cada varias horas. Con el Kanban, esto es imposible. Al trabajar con lotes pequeños y señales frecuentes, la logística debe ser **ágil y constante**.

Aquí es donde entra el concepto de la **cinta transportadora** (o suministro en flujo continuo). En lugar de grandes movimientos esporádicos, establecemos un canal de alimentación constante de materiales hacia la línea de producción.

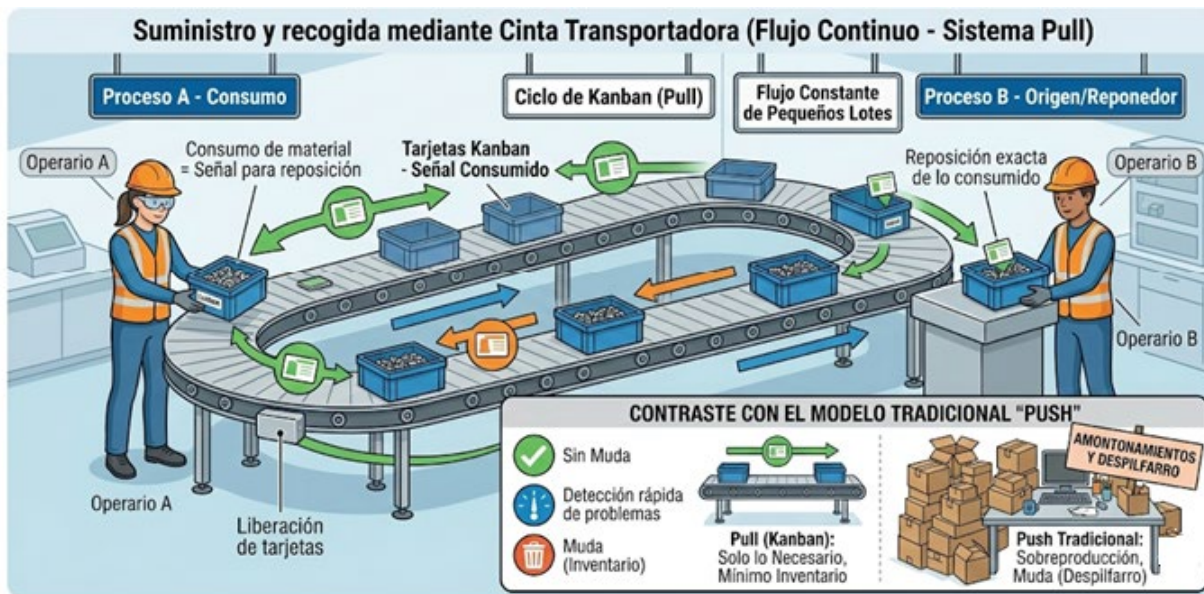
- **Sincronización Total:** La cinta transportadora actúa como las "venas" de la fábrica. Transporta solo los contenedores pequeños que han sido solicitados por las tarjetas Kanban.
- **Eliminación del Despilfarro (Muda):** Al usar una cinta o un sistema de flujo continuo, evitamos que los operarios tengan que abandonar su puesto para buscar material. El material "fluye" hacia ellos justo cuando la tarjeta lo pide.
- **Frecuencia vs. Cantidad:** Pasamos de mover 1.000 tapones una vez al día, a mover cajas de 50 tapones de forma continua a lo largo de la jornada. Según **Rajadell Carreras y Sánchez García (2010)**, este movimiento frecuente es esencial para mantener los niveles de stock lo más bajos posible y detectar errores de calidad al instante.

Ejemplo en nuestra Planta de Aceite: Imagina que la **cinta transportadora** conecta el almacén de envases con la llenadora. En lugar de tener 500 botellas vacías estorbando al lado de la máquina, la cinta va entregando cajas de 12 botellas a medida que la llenadora las va necesitando (activado por el Kanban). Si la llenadora se para, la cinta se detiene. No hay amontonamientos, solo fluidez.

En la figura 4 se muestra una infografía de suministro y recogida mediante Cinta Transportadora (Flujo Continuo). Se observa el flujo constante de pequeños lotes activados por las tarjetas Kanban (el sistema Pull) a lo largo de una cinta transportadora. A la izquierda (Proceso A – Consumo), un operario retira material, lo que libera tarjetas que viajan hacia la derecha (Proceso B – Origen) para reponer solo lo consumido. Esta organización elimina los amontonamientos y el despilfarro (Muda), como se muestra en el contraste con el modelo tradicional 'Push' en la parte inferior.

Figura 4

Sistema Kanban (Pull) en flujo continuo



4.11. Nivelación de la Producción: El "Contrato" Logística-Producción

Para que una fábrica no viva en un caos de urgencias, el sistema Lean utiliza la **nivelación o Heijunka**. El objetivo es que la carga de trabajo sea constante, evitando que un día los operarios estén de brazos cruzados y al siguiente tengan que hacer horas extras.

Para lograrlo, se firma un "**Contrato Logística-Producción**". Este no es un documento legal externo, sino un acuerdo interno mensual donde ambos departamentos se comprometen a una cifra y variedad de productos fija durante al menos 30 días. Según **Hernández y Vizán (2013)**, este acuerdo es la base para proporcionar estabilidad al sistema y permitir que los recursos (humanos y materiales) se dimensionen correctamente.

¿Qué firma cada parte en este pacto?

1. **Logística (La voz del cliente):** Se encarga de analizar los pedidos reales y dimensionar la cadena. Su promesa es: *"Garantizaré que todos los componentes lleguen a la cinta transportadora a tiempo para que nunca falte nada"*.
2. **Producción (El motor de la fábrica):** Su promesa es: *"Fabricaré exactamente la cantidad acordada en el contrato, gestionando mis recursos e incidencias, sin excusas"*.

El escenario del "Stock Regulador"

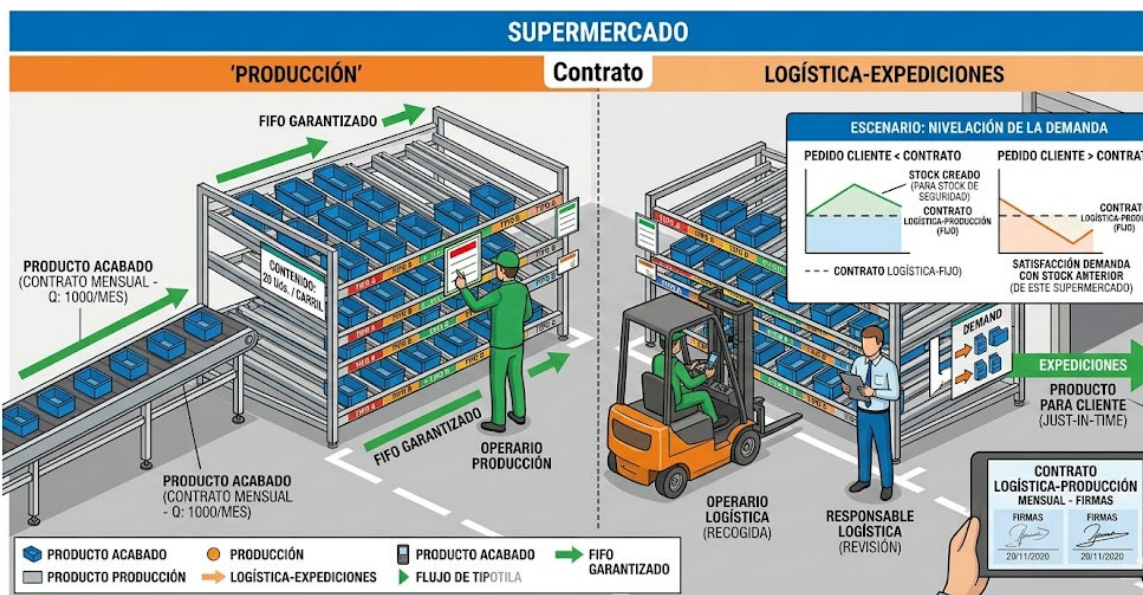
Este sistema presupone la existencia de un pequeño **almacén de producto terminado** (llamado a veces "Supermercado"). Como la demanda del cliente nunca es una línea recta perfecta, el contrato actúa como un amortiguador:

- **Si el Cliente pide MENOS de lo pactado:** El exceso de producción se guarda en el stock regulador.
- **Si el Cliente pide MÁS de lo pactado:** La demanda extra se satisface usando el stock que guardamos anteriormente.

Como explican **Rajadell Carreras y Sánchez García (2010)**, este stock no es un "almacén olvidado", sino un área de expediciones gestionada visualmente, con capacidad limitada y que respeta estrictamente el sistema **FIFO** (*First-In, First-Out*), asegurando que el producto no caduque ni se deteriore.

Figura 5

Gestión visual del stock tras el acuerdo Logística-Producción.



En la anterior figura 5, se observa el "Supermercado" de producto terminado con carriles **FIFO** limitados. Este stock permite que la producción sea constante (nivelada) aunque los pedidos de los clientes suban o bajen ligeramente durante el mes.

4.12. Entregas Frecuentes: Extendiendo el Pull a los Proveedores

El objetivo final del Lean Manufacturing es lograr un **flujo continuo** y sin interrupciones desde la materia prima hasta el cliente final. Como hemos visto, el sistema *Pull* interna gestiona la fábrica de forma eficiente, pero si el almacén de entrada se llena de palés gigantescos que llegan una vez al mes, el flujo se rompe.

Para solucionarlo, debemos "tirar" también de nuestros proveedores. Esto implica un cambio radical en la política de compras: pasamos de pedir grandes volúmenes para

obtener descuentos, a exigir **entregas frecuentes y en lotes pequeños**, exactamente según se vayan necesitando en la línea de producción.

Imagina que un cliente nos pide material mensualmente. Para cubrir ese mes, acumulamos un stock enorme. Pero, ¿qué pasa si cambiamos la entrega mensual por entregas diarias?

Considerando un mes laborable de 20 días:

- **Entrega Mensual:** Stock para 20 días acumulado el día 1.
- **Entrega Diaria:** Stock para 1 día acumulado cada mañana.

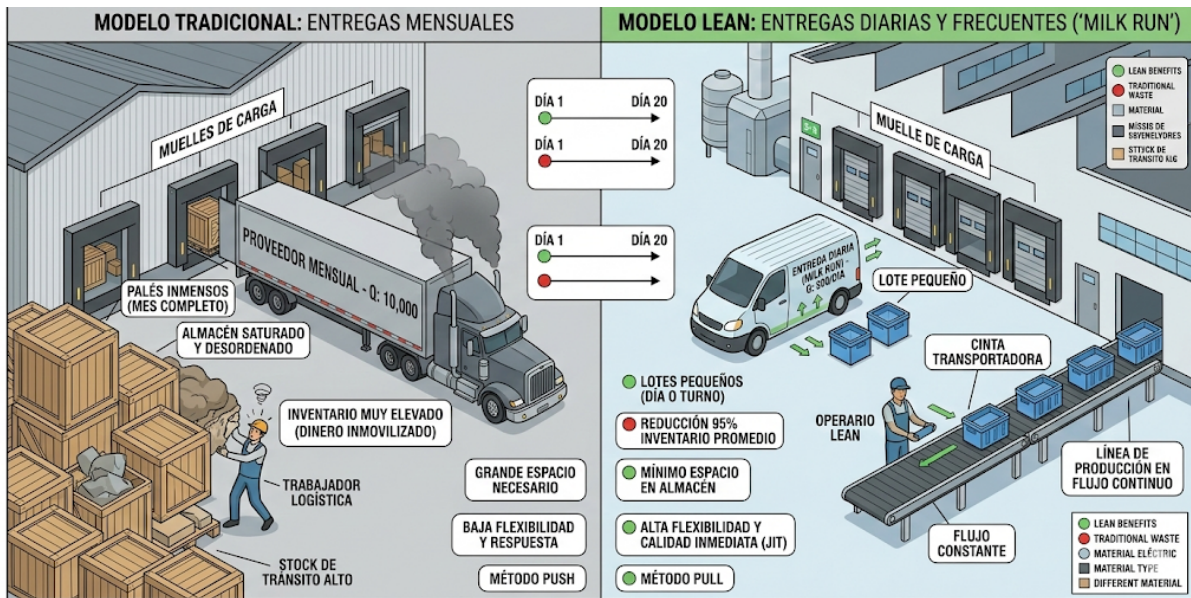
¡Resultado! Al pasar de mensual a diario, reducimos el inventario promedio en tránsito en un **95%**. Como señalan **Rajadell Carreras y Sánchez García (2010)**, esta reducción drástica no solo libera capital inmovilizado, sino que transforma la agilidad de la empresa.

Trabajar codo con codo con proveedores "Lean" aporta cuatro ventajas competitivas directas:

- **Mínimo Inventario y Espacio:** Al recibir solo lo necesario para el día (o el turno), el almacén de materias primas se reduce a la mínima expresión, liberando metros cuadrados productivos.
- **Máxima Flexibilidad:** Si el cliente cambia su pedido a mitad de mes, podemos reaccionar inmediatamente avisando al proveedor para el envío de mañana. Con entregas mensuales, estaríamos "atrapados" con el material viejo.
- **Mejora del Lead Time:** El tiempo total que transcurre desde que compramos la materia prima hasta que cobramos del cliente se reduce drásticamente, mejorando el flujo de caja.
- **Calidad Inmediata:** Si un lote de tapones llega defectuoso, lo detectamos en horas y avisamos al proveedor. Si la entrega fuera mensual, podríamos descubrir el defecto días después, habiendo procesado ya miles de botellas defectuosas (**Hernández y Vizán, 2013**).

Figura 6

Muelle de carga "JIT"- modelo tradicional



En la figura 6, se aprecia el **contraste en la recepción de materiales**. Izquierda: El modelo tradicional con grandes camiones mensuales que saturan el almacén. Derecha: El modelo Lean con furgonetas de entregas diarias y frecuentes (Milk Run), que alimentan directamente el flujo continuo de la fábrica sin generar stock.

4.13. Relación con los Proveedores: De simples vendedores a Socios Estratégicos

Se comienza este apartado con la pregunta que todos nos hacemos, "Si pedimos que nos traigan material todos los días en lotes pequeños, ¿no se van a disparar los costes de transporte?". Aquí es donde entra la magia de la logística Lean y el cambio de mentalidad con los proveedores.

Exigir entregas frecuentes (como vimos en el punto anterior) plantea un reto logístico y económico. Si tenemos 10 proveedores y cada uno nos envía un camión diario medio vacío (sistema radial), el coste del transporte nos arruinaría.

Bajo la óptica *Lean Manufacturing*, la empresa cliente suele asumir el control del transporte para garantizar el cumplimiento de los plazos (*Just In Time*), utilizando dos estrategias clave para no encarecer los costes:

Estrategia 1: El circuito de recogida o "Ruta Lechera" (*Milk Run*)

En lugar de que cada proveedor venga a nuestra fábrica, enviamos un solo camión que hace una ruta circular. Este vehículo recoge pequeños lotes de varios proveedores cercanos en tiempos preestablecidos y los trae a la planta. Optimizar un camión lleno con piezas de varios proveedores es mucho más barato que pagar 10 viajes independientes (Hernández y Vizán, 2013).

Estrategia 2: Centros de recogida (Consolidación)

Si los proveedores están lejos de nuestra fábrica pero cerca entre sí, se crea un "centro de reagrupamiento". Una empresa de transporte recoge el material de esa zona, lo junta en un solo envío optimizado y lo trae a nuestra planta. Un ejemplo clásico en España es la factoría de **Fasa Renault (Sevilla)**, que utiliza estos centros para agrupar las piezas antes de llevarlas a la línea de montaje.

En Japón, cuna del sistema Lean, el proveedor no es un "enemigo" al que hay que exprimirle el precio, sino parte de la familia de la empresa. Se les invita a eventos, confían ciegamente en su calidad (eliminando las inspecciones de entrada) y sus materiales van directos a la línea de montaje sin pasar por el almacén.

Evidentemente, no podemos tener este nivel de confianza ciega con todos los proveedores desde el primer día. Las empresas Lean clasifican a sus proveedores en tres niveles, con el objetivo de llevar a los mejores hacia la categoría "A".

A continuación, se resumen las características de cada nivel (**Rajadell Carreras y Sánchez García, 2010**) en la siguiente tabla:

Tabla 4

Características de cada nivel

Categoría	Nivel de Relación	Características y Criterios de Funcionamiento
Proveedor Socio (A)	Integración Total	<ul style="list-style-type: none"> • Involucrado desde el diseño del producto y co-inversión en I+D. • Sistemas informáticos integrados con el cliente. • Proceso conjunto de mejora continua.
Proveedor Asociado (B)	Confianza y Largo Plazo	<ul style="list-style-type: none"> • Contratos a largo plazo revisables anualmente. • Calidad concertada: Cero inspecciones al recibir la mercancía. • Entregas <i>Just In Time</i> directas a la línea de producción.

Proveedor Clásico (C)	Transaccional (Tradicional)	<ul style="list-style-type: none"> • Relación basada puramente en el precio más bajo. • Pedidos a corto plazo sin garantía de futuro. • Obligación de inspeccionar los materiales al llegar a fábrica.
-----------------------	-----------------------------	---

4.14. Resumen

A lo largo de esta unidad, hemos transformado nuestra visión de cómo debe funcionar una fábrica. Hemos dejado atrás el tradicional y caótico sistema *Push* (empujar producción a ciegas) para abrazar el sistema **Pull (tirar de la producción)**, donde el cliente es quien marca el ritmo.

Para que nunca olvides la esencia del Kanban, aquí tienes los **5 pilares fundamentales** que debes llevarte al mundo profesional:

1. El Kanban no es una tarjeta, es una autorización

Ya sea una tarjeta de cartón, una señal electrónica o "tres cuadrados amarillos pintados en el suelo" en nuestra fábrica de aceite, el Kanban es un permiso visual. **La Regla de Oro es inquebrantable: Si no hay una señal (o un cuadrado vacío), nadie fabrica nada.** Estar parado es infinitamente más rentable que sobreproducir y llenar el almacén de stock innecesario.

2. Las Matemáticas del Lean (Menos Tiempo = Menos Stock)

Hemos aprendido que el número de tarjetas en circulación (ya sean de producción o de transporte) no se adivina, se calcula. La gran lección de las fórmulas que hemos visto es que **el nivel de inventario es esclavo del tiempo de reposición (\$Lead\ Time\$)**. Si quieres limpiar tu fábrica de cajas estorbando, no compres máquinas más grandes; exige a tu almacén y a tus proveedores que te repongan el material más rápido.

3. Del Palé Gigante al Flujo Continuo

El Kanban "obliga" a cambiar la forma en la que movemos las cosas. Despedimos al carretillero que mueve palés inmensos una vez al día y damos la bienvenida a la **cinta transportadora** o a los operarios logísticos que nutren la línea de forma constante, en lotes pequeños, exactamente a medida que se van consumiendo.

4. La Estabilidad nace de un "Contrato"

No podemos trabajar *Just in Time* viviendo en un estado de emergencia perpetuo. Por eso, Logística y Producción firman un **pacto mensual de nivelación**. Las pequeñas variaciones

en los pedidos de los clientes diarios se absorben utilizando un **"Supermercado" de producto terminado**, gestionado de forma estrictamente visual y mediante el sistema **FIFO** (lo primero que entra, es lo primero que sale).

5. Proveedores: De simples vendedores a Socios (Categoría A)

El flujo perfecto de la fábrica se colapsa si el proveedor de la calle de enfrente nos envía un camión mensual lleno hasta arriba. El Lean extiende sus tentáculos fuera de la fábrica organizando **rutas lecheras (Milk Run)** y recibiendo entregas diarias. Además, se abandona la pelea constante por el precio más bajo para construir relaciones de **confianza absoluta con proveedores Socios (Categoría A)**, eliminando burocracia e inspecciones innecesarias.

4.15. Bibliografía

Gaither, N., y Frazier, G. (2000). Administración de producción y operaciones (8º ed.). International Thomson Editores.

Hernández, J. C., y Vizán, A. (2013). Lean Manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación. Escuela de Organización Industrial (EOI).

Rajadell Carreras, M., y Sánchez García, J. L. (2010). Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad. Ediciones Díaz de Santos.

Capítulo 5. Herramientas Lean: TPM y JIDOKA

5.1.	Definición y origen de TPM.....	90
5.1.1.	Desglosando el concepto.....	90
5.1.2.	Origen del TPM.....	90
5.1.3.	El primer contacto: Limpieza e inspección.....	91
5.2.	Objetivos de TPM.....	91
5.3.	Tipos de mantenimiento industrial.....	92
5.3.1.	Clasificación y enfoque operativo.....	92
5.3.2.	Mantenimiento Planificado.....	94
5.3.3.	Mantenimiento preventivo.....	94
5.3.4.	Mantenimiento predictivo.....	94
5.4.	¿Por qué implantar TPM?.....	95
5.4.1.	Las fuerzas del cambio.....	95
5.4.2.	El enemigo identificado: Las Seis Grandes Pérdidas.....	96
5.4.3.	Consecuencias de implantar TPM en la industria.....	97
5.4.4.	Las bases de la metamorfosis industrial.....	98
5.5.	Pasos para la implantación del TPM: El camino a la maestría.....	98
5.5.1.	El ambiente previo: Las 3Y del éxito.....	98
5.5.2.	Los dos pilares del método práctico.....	98
5.5.3.	El Ciclo de Mejora: PDCA.....	100
5.6.	Caso Práctico: Línea de Inyección de Polímeros.....	100
5.7.	Herramienta Lean: JIDOKA.....	103
5.7.1.	Definición y orígenes de JIDOKA.....	103
5.7.2.	Objetivos de JIDOKA.....	104
5.7.3.	JIDOKA: profundización técnica y filosófica.....	105

5.7.3.1.	Autonomatización: El toque humano (Ninben-no-tsuita)	105
5.7.3.2.	El Sistema ANDON: El sistema nervioso de la planta.....	105
5.7.3.3.	POKA-YOKE: Diseño para la infalibilidad	105
5.7.3.4.	La Matriz de Autocalidad (MAQ)	108
5.7.3.5.	La base de los cero defectos.....	112
5.8.	Bibliografía.....	113

5.1. Definición y origen de TPM

El **Mantenimiento Productivo Total**, conocido mundialmente por sus siglas en inglés **TPM** (*Total Productive Maintenance*), es mucho más que un conjunto de manuales técnicos. Es un sistema de gestión que busca la excelencia mediante la eliminación radical de las ineficiencias. Imaginemos una orquesta donde no solo el director cuida el ritmo, sino que cada músico es responsable de que su instrumento brille y suene perfecto antes de cada nota. Eso es el TPM en la industria.

El **Mantenimiento Productivo Total (TPM)** no es simplemente un manual técnico que se guarda en un cajón tras una auditoría; es una metamorfosis cultural. Imagine una planta industrial donde las máquinas no son "hierros" ajenos al operario, sino aliados estratégicos. En el modelo tradicional, el abismo entre producción y mantenimiento era absoluto: "Yo opero la máquina, tú la arreglas cuando se rompa". El TPM dinamita ese muro de hormigón para construir un puente de responsabilidad compartida.

Como bien rescató Winston Churchill, "un optimista ve la oportunidad en cualquier calamidad, mientras que un pesimista ve una calamidad en cualquier oportunidad". Bajo esta premisa, el TPM transforma la "calamidad" de una avería en una "oportunidad" para rediseñar el proceso y fortalecer el equipo humano. La productividad de una planta está encadenada al aliento de sus máquinas; si una línea se detiene, el latido de la fábrica se debilita.

5.1.1. Desglosando el concepto

Para entender la magnitud del sistema, debemos diseccionar sus tres siglas con precisión quirúrgica:

- **Total:** Esta palabra es el corazón del sistema. Implica la **participación total** de todos los miembros de la organización, desde la alta gerencia hasta el personal de limpieza. No hay rangos cuando se busca la excelencia. También se refiere a la **efectividad total** (buscar el máximo rendimiento) y a un **sistema total** de mantenimiento que cubra todo el ciclo de vida del equipo.
- **Productivo:** El mantenimiento no debe verse como un "gasto necesario", sino como una actividad que añade valor. Se busca realizar las tareas de mantenimiento mientras se mantiene o mejora la productividad, evitando que las paradas programadas canibalicen los tiempos de entrega.
- **Mantenimiento:** Se refiere a la conservación de los activos en su estado óptimo. No es "reparar", es "mantener" para que la reparación nunca sea necesaria.

La idea fundamental que subyace es que la mejora y buena conservación de los activos productivos es una tarea de todos. Según Cuatrecasas Arbós (2012), el TPM busca que el equipo de fabricación se encuentre en condiciones tan perfectas que produzca continuamente bajo estándares de calidad y tiempos de ciclo idóneos

5.1.2. Origen del TPM

El origen del TPM es un relato de adaptación y superación. Tras la Segunda Guerra Mundial, Japón importó desde Estados Unidos el concepto de **Mantenimiento Preventivo (PM)**.

Sin embargo, los ingenieros japoneses, con su incansable búsqueda de la armonía, llevaron el concepto un paso más allá.

- **Década de 1950:** Se implanta el mantenimiento preventivo clásico, donde equipos especializados realizaban revisiones periódicas.
- **1961 (El germen en Nippon Denso Co., Ltd.):** Esta empresa, proveedora de Toyota, empezó a notar que la automatización requería más personal de mantenimiento que operarios. Decidieron que los propios operarios debían realizar las tareas básicas de mantenimiento. Así nació el "**Mantenimiento Autónomo**".
- **1971 (El reconocimiento mundial):** El Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM) otorgó el premio de excelencia a Nippon Denso por su sistema, bautizándolo oficialmente como **TPM**.

Originariamente, el sistema fue concebido como "*Total Member Participation*" (Participación Total de los Miembros), subrayando que el éxito no reside en los sensores de última generación, sino en los ojos vigilantes de quien maneja la máquina cada día.

5.1.3. El primer contacto: Limpieza e inspección

Para un estudiante, puede parecer trivial, pero el TPM comienza con un trapo y una linterna. Las primeras actividades críticas son la **limpieza**, la **lubricación adecuada** y la **inspección visual**. Una máquina limpia revela fugas de aceite que antes estaban ocultas bajo capas de grasa; una máquina lubricada suena como un reloj suizo. El operario toma conciencia de su equipo y aprende a detectar anomalías antes de que se conviertan en desastres industriales.

Tabla 1

Enfoque tradicional versus enfoque TPM

Etapa	Enfoque Tradicional	Enfoque TPM
Visión del Operario	"Solo pulso botones".	"Soy el guardián de mi equipo".
Estado de la Máquina	Se limpia cuando hay tiempo.	La limpieza es la inspección primaria.
Meta Final	Evitar que la avería dure mucho.	Cero averías y cero defectos.

5.2. Objetivos de TPM

¿Qué buscamos realmente al aplicar estas técnicas? El horizonte es ambicioso: trabajar hacia los "**O fallos, O averías, O incidencias y O defectos**". Para alcanzar esta utopía productiva, el TPM se divide en dos grandes enfoques:

Objetivos Estratégicos

- **Involucración total:** Integrar a departamentos que tradicionalmente no "tocan" las máquinas, como diseño, ingeniería y administración.

- **Cultura de equipo:** Fomentar grupos pequeños que realicen actividades autónomas. Esto no solo mejora la máquina, sino que eleva la moral del trabajador al sentirse dueño de su entorno.
- **Competitividad:** Crear capacidades que duren en el tiempo, reduciendo costes y ganando flexibilidad frente a los cambios del mercado.

Objetivos Operativos

- **Máxima eficacia:** Exprimir al máximo la capacidad del equipo eliminando los tiempos muertos por ajustes o averías.
- **Fiabilidad:** Lograr que las máquinas sean robustas y predecibles durante toda su vida útil.

5.3. Tipos de mantenimiento industrial

Antes de profundizar en el TPM, debemos entender el ecosistema de mantenimiento en el que nos movemos. No todas las intervenciones son iguales ni tienen el mismo coste emocional o económico para la fábrica.

En el ecosistema industrial, la maquinaria es el corazón que bombea productividad. Sin embargo, como cualquier organismo complejo, estos equipos están sujetos a la entropía. Existen diferentes tipos de mantenimientos que se pueden aplicar en un entorno industrial y que repercuten directamente en la disposición de una maquinaria en buen estado. No se trata simplemente de tener a alguien con una llave inglesa esperando a que algo falle. Se trata de **estrategia**.

La elección del tipo de mantenimiento adecuado es un ejercicio de equilibrio. Si somos demasiado precavidos, gastamos fortunas en piezas que aún funcionan; si somos descuidados, la avería nos asaltará en el peor momento posible, deteniendo la línea de producción y provocando un caos económico.

5.3.1. Clasificación y enfoque operativo

Las técnicas de mantenimiento han evolucionado desde la simple reparación tras la falla hasta sistemas complejos de monitoreo digital. Según Cuatrecasas Arbós (2012), la productividad de una planta está ligada al correcto funcionamiento de las máquinas, y un análisis detallado permite medir la importancia de cada factor de avería.

Podemos clasificar las estrategias de mantenimiento en tres grandes familias, cada una con su propia "personalidad" y requisitos:

- **Mantenimiento Planificado:** Es la organización pura. Se basa en hitos temporales o de uso para intervenir antes de que el caos se desate.
- **Mantenimiento Preventivo:** El guardián constante. Su meta es reducir paradas imprevistas mediante la sustitución sistemática de componentes según su vida útil estimada.

- **Mantenimiento Predictivo:** El sabio tecnológico. No adivina, sino que "escucha" los síntomas físicos de la máquina (vibración, calor, ruido) para actuar justo antes del colapso.

En la tabla 2, se representa el camino de madurez de una fábrica, moviéndose desde la **reactividad** (esperar al fallo) hacia la **proactividad total** (predecir y prevenir con cultura de equipo).

Tabla 2

Espectro del mantenimiento industrial

Nivel de Madurez	Estrategia	Lema Principal	Herramienta Clave	Impacto en Costes
Nivel 1 ●	Correctivo	"Si no se rompe, no lo toques"	Reacción Urgencia /	MUY ALTO (Paradas no deseadas)
Nivel 2 ●	Preventivo	"Más vale prevenir que curar"	Calendario Horas /	MEDIO (Sustitución sistemática)
Nivel 3 ●	Predictivo	"La máquina me está hablando"	Sensores Datos /	BAJO (Solo se actúa si es necesario)
Nivel 4 ●	TPM	"Cuidamos lo que es nuestro"	Cultura Autonomía /	MÍNIMO (Cero averías / Eficiencia total)

Históricamente, la fábrica funcionaba bajo un binomio rígido: "unos producen y otros reparan". Esta mentalidad creaba una desconexión peligrosa; el operario ignoraba los lamentos mecánicos de su máquina porque "no era su problema".

El TPM rompe esta barrera. En la producción lean, se busca que el propio responsable de la máquina sea capaz de realizar operaciones básicas como limpieza, lubricación y sujeción de tornillos. Esta implicación del personal de producción es la piedra angular que diferencia al mantenimiento moderno de los modelos obsoletos, ya que el operario es quien tiene más capacidad para percibir anomalías de forma inmediata.

Tabla 3

Estrategias del mantenimiento industrial

Estrategia	Filosofía Dominante	Ventaja Principal	Desafío Crítico
Correctiva	"Si no está roto, no lo toques".	Bajo coste inicial.	Paradas catastróficas imprevistas.
Preventiva	"Mejor prevenir que curar".	Fiabilidad programada.	Desperdicio de vida útil de piezas.
Predictiva	"La máquina nos dice qué necesita".	Máxima eficiencia del activo.	Alta inversión en tecnología/sensores.

TPM (Total)	"Todos somos responsables".	Cero defectos y alta motivación.	Exige un cambio cultural profundo.
--------------------	-----------------------------	----------------------------------	------------------------------------

El mantenimiento moderno ha dejado de ser una actividad reactiva de "apagar fuegos". Como indica Cuatrecasas Arbós (2012), la productividad está encadenada a la disponibilidad de las máquinas; por ello, la gestión del mantenimiento se convierte en el pulmón de la fábrica.

5.3.2. Mantenimiento Planificado

El mantenimiento planificado es la orquestación de recursos, tiempos y personas. No se trata solo de "qué" reparar, sino de "cuándo" y "cómo" hacerlo para que el impacto en la producción sea mínimo. Es el antídoto contra la improvisación.

Esta modalidad se basa en un estudio riguroso de la carga de trabajo y la disponibilidad de repuestos. Sin una planificación férrea, el taller se convierte en un escenario de ansiedad donde los operarios esperan piezas que no llegan o herramientas que están siendo usadas en otra línea. La meta es clara: que el equipo de mantenimiento actúe con la precisión de un equipo de boxes en la Fórmula 1.

Un ejemplo práctico, imaginad una planta de embotellado que programa una parada total de su línea principal cada primer domingo de mes. Durante esas 8 horas, aprovechando que no hay turnos de producción, se coordinan equipos de mecánicos y electricistas para revisar los motores principales. Todo el material necesario (filtros, juntas, lubricantes) ha sido comprado y organizado semanas antes.

5.3.3. Mantenimiento preventivo

Si el mantenimiento planificado es el calendario, el preventivo es el ritual. Su filosofía es simple pero poderosa: **intervenir antes de que aparezca el síntoma**. Se basa en la estadística y en la vida útil de los componentes. Sabemos que un rodamiento fallará, tarde o temprano, tras X horas de uso; el preventivo lo sustituye en la hora X-1.

Es vital entender que el mantenimiento preventivo busca reducir la probabilidad de fallo o la degradación del servicio prestado (Serna Jara, s.f.). Sin embargo, requiere un equilibrio delicado. Si somos excesivamente precavidos, caeremos en el "exceso de mantenimiento", desperdiciando piezas que aún tenían vida útil y dinero que podría invertirse en mejoras.

Como ejemplo práctico de este tipo de mantenimiento, puede ser, en una prensa hidráulica, el manual del fabricante y la experiencia del jefe de taller dictan que los latiguillos de alta presión deben cambiarse cada 2.000 ciclos de trabajo. Aunque el latiguillo parezca impecable a la vista, se sustituye sistemáticamente para evitar una rotura por fatiga que proyectaría aceite a alta temperatura, poniendo en riesgo la seguridad y deteniendo la producción durante días.

5.3.4. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es la frontera tecnológica del TPM. Aquí no actuamos por calendario ni por intuición, sino por **evidencia física**. Es un diagnóstico continuo que permite conocer el estado real de la máquina sin necesidad de detenerla ni desmontarla.

Utilizamos los sentidos de la tecnología para detectar lo invisible al ojo humano. Como se menciona en el material de referencia, estas técnicas permiten medir la importancia relativa de los factores de avería y actuar de forma quirúrgica (Cuatrecasas Arbós, 2012). Es la diferencia entre operar a un paciente por rutina o hacerlo porque un escáner ha detectado una anomalía específica. Las técnicas esenciales en el entorno predictivo, son:

- **Análisis de vibraciones:** Detecta desalineaciones o desequilibrios en ejes rotativos.
- **Termografía:** Localiza "puntos calientes" en cuadros eléctricos o motores que indican una sobrecarga o falta de aislamiento.
- **Análisis de aceites:** Busca partículas metálicas que revelan un desgaste interno anormal de los engranajes.

Por ejemplo, un ingeniero de mantenimiento utiliza un sensor de ultrasonidos en un gran compresor de aire. El sensor detecta una frecuencia inaudible para el oído humano que indica una pequeña fuga en una válvula interna. En lugar de parar la máquina inmediatamente o esperar a que se rompa, se programa la reparación para el final de la semana, comprando exactamente la válvula necesaria. Se ha evitado una avería mayor y no se ha perdido tiempo en inspecciones innecesarias.

En la siguiente tabla, se muestra una comparativa de estas estrategias de mantenimiento:

Tabla 4

Resumen estrategias

Característica	Planificado	Preventivo	Predictivo
¿Cuándo se actúa?	En fechas pactadas.	Según horas o ciclos de uso.	Cuando el sensor da la alarma.
Coste de implementación	Bajo (Gestión).	Medio (Repuestos).	Alto (Instrumentación).
Riesgo de avería	Medio.	Bajo.	Muy bajo.
Principal beneficio	Orden y paz mental.	Fiabilidad y seguridad.	Aprovechamiento total del activo.

5.4. ¿Por qué implantar TPM?

La decisión de abrazar la filosofía TPM nace de una necesidad de supervivencia. No se trata solo de arreglar máquinas; se trata de blindar la empresa contra la incertidumbre. Como bien apunta Cuatrecasas Arbós (2012), la competitividad actual exige niveles de precisión que solo un sistema integral puede ofrecer.

5.4.1. Las fuerzas del cambio

Existen potentes motores que impulsan a las organizaciones hacia este modelo:

- **La dictadura del mercado:** Los clientes ya no solo piden productos; exigen perfección. El precio, la calidad y los plazos de entrega son ahora dogmas innegociables.
- **La paradoja tecnológica:** Nos enfrentamos al deterioro de equipos veteranos conviviendo con la sofisticación extrema de los nuevos. Ambos requieren un cuidado exquisito.
- **Dignidad y profesionalismo:** El operario moderno ya no es un peón; es un especialista. El TPM reconoce esta evolución, promoviendo puestos de trabajo ergonómicos, limpios y seguros. La seguridad laboral no es una opción, es un derecho que el TPM garantiza al reducir riesgos y contaminación (Serna Jara, s.f.).
- **Rentabilidad implacable:** El capital no puede dormir. Se busca reducir los periodos de amortización (*pay back*) y maximizar la rentabilidad de cada proceso a corto plazo.

5.4.2. El enemigo identificado: Las Seis Grandes Pérdidas

Para maximizar la eficacia, debemos declarar la guerra a lo que Nakajima (1988) denominó las "seis grandes pérdidas". Estas son las hemorragias de recursos que el TPM se encarga de cauterizar.

Pérdidas por averías

Las averías son el fracaso más visible. Causan pérdidas de tiempo (caída de productividad) y de cantidad (productos defectuosos).

- **Averías esporádicas:** Son fallos repentinos, como un rayo en cielo despejado. Son fáciles de ver pero difíciles de predecir.
- **Averías crónicas:** El enemigo silencioso. Son pequeños fallos que se repiten y, a menudo, terminamos ignorando por "acostumbramiento". El TPM nos enseña que **todas las averías deben reducirse a cero**, rompiendo con la vieja idea de que fallar es inevitable.

Pérdidas por preparaciones y ajustes

Cada vez que cambiamos de un producto a otro, la máquina se detiene. Ese tiempo muerto es dinero que se esfuma. Aquí es donde el TPM se alía con técnicas como el **SMED** (*Single Minute Exchange of Die*) para que los cambios sean tan rápidos como un cambio de neumáticos en la Fórmula 1.

Pérdidas por paradas menores y tiempos muertos

Son micro-interrupciones. Un sensor que se ensucia, un envase que se traba. Como son fáciles de arreglar (a veces solo basta con mover una pieza), la industria suele ignorarlas. Sin embargo, su acumulación es una sangría de eficiencia devastadora en sistemas automatizados.

Pérdidas por velocidad reducida

¿Alguna vez has sentido que una máquina "no va como debería"? Esta pérdida es la diferencia entre la velocidad para la que fue diseñada la máquina y su velocidad operativa real. A veces, el miedo a que el equipo se rompa hace que lo usemos a medio gas, perdiendo competitividad en cada segundo.

Defectos de calidad y repetición de trabajos

Un equipo con desgaste genera piezas fuera de tolerancia. Fabricar basura es el peor de los pecados industriales: desperdicias tiempo, energía y material. El TPM asegura que la máquina sea capaz de fabricar bien a la primera.

Pérdidas por puesta en marcha

Es el periodo de inestabilidad desde que encendemos la máquina hasta que el proceso se estabiliza. A menudo aceptamos estas pérdidas como "el precio de arrancar", pero el TPM demuestra que, con un mantenimiento técnico superior, este tiempo puede minimizarse drásticamente.

Tabla 5

Resumen del impacto de las pérdidas

Pérdida	Tipo	Causa Principal	Objetivo TPM
Averías	Tiempo/Calidad	Falta de mantenimiento básico	Cero Averías
Ajustes	Tiempos muertos	Cambios de formato lentos	Reducción SMED
Microparos	Eficiencia	Sensores sucios o desajustes	Flujo Continuo
Baja Velocidad	Rendimiento	Desgaste oculto o miedo operativo	Velocidad Nominal
Defectos	Calidad	Mal estado de la maquinaria	Cero Defectos
Arranque	Estabilización	Falta de estandarización	Estabilidad Inmediata

5.4.3. Consecuencias de implantar TPM en la industria

Cuando el TPM echa raíces, la fábrica cambia para siempre. La atmósfera del taller se transforma. La consecuencia más profunda es el **despertar de la conciencia del operario**. Ya no estamos ante un trabajador que simplemente "cumple horas", sino ante un custodio de la tecnología. El operario toma conciencia de que su máquina es una extensión de su propia habilidad y se responsabiliza de su salud básica.

En la industria clásica, existía un abismo emocional: *"unos producen y otros reparan"*. Esta separación era una receta para el descuido (Cuatrecasas Arbós, 2012). El operario ignoraba los síntomas de fallo porque "no era su trabajo", y el mecánico intervenía solo cuando el desastre ya era inevitable.

El TPM propone una matización revolucionaria: **"unos producen y otros reparan aquello que los que producen no pueden reparar"**.

Esta frase es un pacto de eficiencia. El responsable de la máquina ahora realiza operaciones esenciales

- **Limpieza profunda:** Que funciona como una inspección visual constante.
- **Lubricación técnica:** Para evitar que el rozamiento canibalice los componentes.
- **Ajuste y sujeción:** Evitar que un tornillo flojo desencadene una catástrofe mecánica.

5.4.4. Las bases de la metamorfosis industrial

Para que estos resultados no sean efímeros, el TPM se asienta sobre cinco pilares de gestión (Cuatrecasas Arbós, 2012):

1. **Control de las condiciones de uso:** Respetar los límites de la máquina.
2. **Formación técnica:** Empoderar al operario con conocimientos, no solo con órdenes.
3. **Reparación del deterioro:** No dejar para mañana el desgaste que se ve hoy.
4. **Mantenimiento de la calidad:** Entender que una máquina sana produce piezas perfectas.
5. **Mejora del diseño:** Aprender de las averías para que la próxima máquina sea mejor.

5.5. Pasos para la implantación del TPM: El camino a la maestría

Antes de que la primera llave inglesa gire, debemos preparar el "alma" de la fábrica. En Japón, esto se conoce como crear un ambiente fértil a través de las **3Y**. Sin este suelo preparado, cualquier herramienta que intentemos plantar morirá por falta de compromiso.

5.5.1. El ambiente previo: Las 3Y del éxito

Imagina que vas a montar un equipo de élite. No solo necesitas buenos jugadores; necesitas que quieran ganar y que el campo de juego sea el adecuado.

- **Yakuki (Motivación):** Es el cambio de actitud. El operario debe pasar del "tengo que hacer esto" al "quiero mejorar mi entorno". Es la chispa que enciende el motor del cambio.
- **Yaruude (Competencia):** No basta con querer; hay que saber. Se trata de dotar a las personas de la habilidad y destreza necesarias para sus nuevas tareas.
- **Yoruba (Entorno propicio):** La empresa debe garantizar un lugar de trabajo que no sea hostil. Si el operario se siente amenazado o vigilado, el TPM fracasará.

5.5.2. Los dos pilares del método práctico

El éxito del TPM se sostiene sobre dos columnas que trabajan en equipo: el **Mantenimiento Autónomo** y el **Proceso Fiable**.

Pilar 1: Mantenimiento Autónomo (El poder del operario)

Aquí es donde el operario se adueña de su máquina a través de cuatro pasos críticos:

1. **Volver al estado inicial:** Es la "limpieza técnica". Dejamos la línea como el día que la entregó el proveedor. **Limpiar es inspeccionar.** Al quitar la grasa, descubrimos el goteo de aceite o el tornillo suelto que antes era invisible.
2. **Eliminar fuentes de suciedad:** Si algo mancha, buscamos por qué. No solo limpiamos el aceite; arreglamos la fuga. Aquí aplicamos la técnica de los **5 ¿Por qué?** (ver ejemplo abajo).
3. **Aprender a inspeccionar:** Se entrena al operario en tres niveles de acción:
 - o **Nivel 1:** Inspección, lubricación y diagnóstico (usar los sentidos).
 - o **Nivel 2:** Cambios de piezas con las manos (sin herramientas).
 - o **Nivel 3:** Cambios con herramientas sencillas (llaves Allen, destornilladores).
4. **Mejora Continua:** El operario ya es autónomo y propone rediseños para que la máquina falle menos.

Técnica de los 5 ¿Por qué? (Ejemplo de detective industrial):

1. ¿Por qué se paró la máquina? *Saltó el fusible por sobrecarga.*
2. ¿Por qué hubo sobrecarga? *Los cojinetes no estaban bien lubricados.*
3. ¿Por qué falló la lubricación? *La bomba de engrase no funcionaba bien.*
4. ¿Por qué falló la bomba? *El árbol de la bomba vibra por desgaste.*
5. ¿Por qué se desgastó? *No había un filtro y entraron partículas metálicas. Solución:* Instalar un filtro (ataquemos la causa raíz, no solo el fusible).

Pilar 2: Proceso Fiable y el Indicador Maestro: OEE

¿Cómo sabemos si vamos por buen camino? Necesitamos un termómetro industrial: el **OEE (Overall Equipment Efficiency)**.

¿Qué es el OEE? Es el indicador que mide la eficiencia global. Se calcula multiplicando tres factores (Cuatrecasas Arbós, 2012):

OEE = Disponibilidad × Eficiencia × Calidad

- **Disponibilidad:** ¿Cuánto tiempo ha estado la máquina funcionando realmente?
- **Eficiencia:** ¿A qué velocidad ha ido respecto a su máximo teórico?
- **Calidad:** ¿Cuántas piezas de las fabricadas son buenas?

La interpretación del "60 vs 85": Un OEE del **60%** significa que, de cada 100 piezas que podrías haber hecho perfectas, solo has logrado 60. En la industria de élite, buscamos superar el **85%**.

5.5.3. El Ciclo de Mejora: PDCA

Para estabilizar y mejorar ese OEE, usamos el círculo infinito del éxito: el **PDCA** (Plan-Do-Check-Act):

- **Plan (Planificar):** Asignamos responsables y fechas.
- **Do (Hacer):** Implantamos la mejora.
- **Check (Verificar):** ¿Ha subido el OEE? ¿Ha bajado la avería?
- **Act (Actuar):** Si funciona, lo estandarizamos para que se convierta en la nueva forma de trabajar.

5.6. Caso Práctico: Línea de Inyección de Polímeros

En una planta de componentes plásticos para automoción, la **Línea 4** (encargada de fabricar defensas de vehículos) era un caos. Los operarios estaban frustrados; la máquina se detenía por "micro-paros" constantes y el jefe de planta solo veía números rojos.

Decidieron aplicar el **Pilar 2: Proceso Fiable** para dejar de adivinar y empezar a medir.

Paso 1: El Diagnóstico con OEE

Para saber qué tan "enferma" estaba la línea, calcularon el **OEE (Overall Equipment Efficiency)** durante un turno de 8 horas. Como señala Cuatrecasas Arbós (2012), el OEE es el indicador "natural" del TPM porque evalúa disponibilidad, eficiencia y calidad en un solo golpe de vista.

Los datos del turno:

- **Tiempo Total:** 480 min.
- **Parada programada (comida):** 30 min. (**Tiempo de carga = 450 min**).
- **Disponibilidad (D):** La máquina sufrió una avería en el sistema hidráulico y varios ajustes de molde. Total perdido: 110 min.
 - *Cálculo:* $(450 - 110) / 450 = 75.5\%$
- **Eficiencia (E):** La máquina debería fabricar 1 pieza por minuto. En los 340 min que funcionó, debería haber hecho 340 piezas, pero solo hizo 280 debido a que operaba a menor velocidad por miedo a que el motor se sobrecalentara.
 - *Cálculo:* $280 / 340 = 82.3\%$
- **Calidad (C):** De las 280 piezas, 28 salieron con deformaciones térmicas y fueron al desguace.
 - *Cálculo:* $(280 - 28) / 280 = 90\%$

OEE FINAL: $0.755 \times 0.823 \times 0.90 = 55.9\%$

Veredicto: Con un 55.9%, la línea era un desastre financiero. Según los estándares internacionales, cualquier valor por debajo del 60% se considera inaceptable (Cuatrecasas Arbós, 2012). Estaban fabricando poco, lento y mal.

Figura 1

Semáforo OEE caso práctico



Paso 2: Estabilización mediante el Ciclo PDCA

No se volvieron locos intentando arreglar todo a la vez. Usaron el método **PDCA** (Plan-Do-Check-Act) para estabilizar ese 55%.

1. **PLAN (Planificar):** Identificaron que el mayor "ladrón" era la disponibilidad (las averías). Planificaron una intervención profunda en el sistema hidráulico.
2. **DO (Hacer):** El equipo de mantenimiento, junto a los operarios (Mantenimiento Autónomo), limpiaron los filtros y sellaron las fugas que causaban la pérdida de presión.
3. **CHECK (Verificar):** En la semana siguiente, el OEE subió al 68%. La máquina ya no se detenía de forma imprevista.
4. **ACT (Actuar):** Estandarizaron la revisión de presión hidráulica cada inicio de turno.

Paso 3 y 4: Mejora y Mantenimiento

Una vez que la máquina dejó de fallar, se enfocaron en la **Velocidad** y la **Calidad**.

- Instalamos sensores de temperatura de alta precisión (Mantenimiento Predictivo).
- Esto permitió subir la velocidad de la máquina a su nivel nominal sin riesgo de quemar el polímero.

Tabla 6

Resultados después de 6 meses

Factor	Antes del TPM	Después del TPM
Disponibilidad	75.5%	92%
Eficiencia	82.3%	95%
Calidad	90%	99%
OEE TOTAL	55.9%	86.5%

Con un **86.5%**, la Línea 4 alcanzó el nivel de **Clase Mundial**. El proceso se volvió fiable, reduciendo costes y eliminando el estrés de los operarios, quienes ahora trabajaban en un entorno ordenado y predecible.

Figura 2

Comparativa Real caso práctico



A la izquierda (Antes): Suelo manchado de aceite, piezas amontonadas, operario con cara de estrés. A la derecha (Después): Suelo impecable con marcas visuales verdes, panel digital mostrando "OEE: 86%", y el operario realizando una inspección visual con calma y orgullo.

5.7. Herramienta Lean: JIDOKA

5.7.1. Definición y orígenes de JIDOKA

Si el TPM era el "seguro de vida" de nuestras máquinas, el JIDOKA es el "escudo de invencibilidad" de nuestra calidad. En un sistema Just-in-Time, donde no sobran piezas y el flujo es tenso, un solo defecto puede detener todo el engranaje. Por eso, el Jidoka no es solo una técnica; es la filosofía de "hacerlo bien a la primera".

El término Jidoka (自動化) se traduce a menudo como "Autonomatización" (automatización con un toque humano). A diferencia de la automatización común, el Jidoka dota a las máquinas y a los operarios de la capacidad de detectar una anomalía y detener inmediatamente el proceso.

Como indica Cuatrecasas Arbós (2012), en el Lean Manufacturing la reparación no ocurre después de producir un lote defectuoso, sino en el instante exacto en que se localiza el problema. Cada empleado se convierte en un inspector jefe.

El Jidoka nace de la mente de **Sakichi Toyoda** (fundador del Grupo Toyota) a finales del siglo XIX. En aquel entonces, los telares eran manuales o mecánicos simples: si un hilo se rompía, la máquina seguía funcionando, produciendo metros de tela defectuosa que luego había que desechar. El operario debía estar vigilando la máquina el 100% del tiempo.

Toyoda inventó un mecanismo sencillo pero revolucionario: una pesa que, al romperse el hilo, caía y bloqueaba el funcionamiento del telar.

¿Por qué esto cambió el mundo industrial?

1. **Separación Hombre-Máquina:** El operario ya no era un "esclavo" de la máquina. Podía atender 10 o 20 telares a la vez, porque sabía que si uno fallaba, se detendría solo.
2. **Transferencia de Inteligencia:** Se le otorgó a la máquina la capacidad de detectar una anomalía. Por eso, en Toyota, Jidoka se escribe con un carácter *kanji* adicional que significa "**persona**", traducándose literalmente como "**Automatización con un toque humano**" (Ohno, 1988).

Para entender el Jidoka actual, debemos ver la calidad como una escalera de tres peldaños. Como explica Cuatrecasas Arbós (2012), cada etapa es más eficiente que la anterior:

Etapa 1: La Calidad como Inspección (El modelo del "Cesto de Basura")

Propia de la era de la producción en masa (postguerra).

- **Filosofía:** "Produce mucho y luego separa lo bueno de lo malo".
- **El problema:** Es carísimo. El departamento de calidad actúa como un "policía" al final de la línea. Si el error ocurrió al principio del día, habrás fabricado miles de piezas defectuosas antes de darte cuenta.
- **Impacto:** Alto desperdicio (*Muda*) y costes de inspección elevados.

Etapa 2: La Calidad en el Proceso (El despertar de la responsabilidad)

Se empieza a entender que la calidad no se "añade" al final, sino que se "fabrica".

- **Filosofía:** "Involucremos a los operarios". Se introducen controles estadísticos y puntos de verificación intermedios.
- **El avance:** Se detectan los errores antes de que el producto esté terminado, pero aún se depende de que alguien "encuentre" el fallo manualmente.

Etapa 3: Calidad Total / Jidoka (El Modelo Lean)

Es el sistema actual de vanguardia. La calidad se integra totalmente en el diseño del trabajo.

- **Filosofía: "Bien a la primera".** No se acepta, no se fabrica y no se pasa un defecto (Shingo, 1986).
- **La revolución:** Cada empleado es su propio inspector. Si un operario detecta una anomalía, tiene la autoridad (y la obligación) de detener la línea entera mediante el **Cordón Andon**.
- **Resultado:** Se eliminan los retrabajos y se garantiza que el flujo *Just-in-Time* nunca se contamine con piezas dudosas.

Tabla 7

Comparativa

Época	Enfoque	Quién manda	Resultado
Pasado (Inspección)	Reactivo	El Inspector (Policía)	Se tira el material defectuoso.
Presente (Proceso)	Preventivo	El Jefe de Línea	Se detecta el fallo antes del final.
Futuro (Jidoka)	Proactivo	El Operario + La Máquina	Cero defectos. El error es imposible.

5.7.2. Objetivos de JIDOKA

El objetivo principal es que **cada proceso solo entregue unidades perfectas al proceso siguiente** (el "cliente interno"). Según Shingo (1986), el Jidoka busca alcanzar los "Cero Defectos" mediante el control en la fuente. **Los 3 Pilares del Objetivo Jidoka:**

- **Satisfacción Plena:** No solo del cliente final, sino del "cliente interno" (tu compañero de la siguiente estación) y de los propios empleados.
- **Costes Mínimos:** Hacerlo bien a la primera siempre es más barato que corregir errores (Liker, 2004).
- **Integración Total:** La calidad no es un departamento separado; es una función inherente a cada tornillo y cada operario.

5.7.3. JIDOKA: profundización técnica y filosófica

5.7.3.1. Autonomatización: El toque humano (*Ninben-no-tsuita*)

El término japonés original es *Ninben-no-tsuita jidoka*. La clave está en el prefijo "Nin", que significa "persona". No es solo automatizar procesos; es darles **conciencia**.

- **Diferencia Crítica:** La automatización simple produce piezas sin parar, aunque sean defectuosas, hasta que alguien la detiene. El **Jidoka**, en cambio, detecta el error, para la producción y "pide" la intervención humana.
- **La Separación de Tareas:** En la industria clásica, el operario es un "vigilante" (espera a que la máquina termine). Con Jidoka, el operario solo interviene cuando hay una señal de aviso. Esto permite el **Multiproceso**: un operario puede gestionar una célula de 5 máquinas simultáneamente, aumentando la eficiencia radicalmente sin aumentar el esfuerzo físico.
- **Las dos funciones maestras:** 1. **Elimina el sobrestock:** Si el proceso siguiente para, Jidoka para el actual. 2. **Barrera de calidad:** Impide físicamente que una pieza mala avance.

5.7.3.2. El Sistema ANDON: El sistema nervioso de la planta

El Andon es una herramienta de **gestión visual**. Su objetivo es hacer que los problemas, que normalmente están ocultos, "griten" por atención.

- **La Regla de los 5 Minutos (Ámbar):** El color ámbar es preventivo. Indica que el operario necesita ayuda pero aún tiene el control. Si el problema persiste más allá del tiempo estándar (ej. 5 min), la luz cambia a roja automáticamente.
- **La Señal Acústica:** No basta con una luz. En plantas grandes, la luz roja se acompaña de una melodía o sirena específica. Esto asegura que el encargado acuda por puro reflejo.
- **Cultura de no castigo:** Lo más difícil de enseñar a los alumnos es que **parar la línea es bueno**. En Toyota, se felicita al operario que pulsa el botón Andon, porque ha evitado que un defecto llegue al cliente. "Ocultar un problema es el único pecado".

5.7.3.3. POKA-YOKE: Diseño para la infalibilidad

Shigeo Shingo decía que el control estadístico (muestreos) solo sirve para saber qué porcentaje de basura fabricamos. El Poka-Yoke sirve para **no fabricar basura**.

Tipos de Poka-Yoke según su función:

1. **De Contacto:** Dispositivos físicos (pines, topes) que detectan si la pieza tiene la forma o tamaño correcto. Si no encaja, la máquina no arranca.
2. **De Valor Fijo:** Se utilizan cuando hay que realizar un número exacto de acciones (ej. apretar 4 tornillos). Si solo aprietas 3, la puerta de salida no se abre.
3. **De Paso-Movimiento:** Obligan a seguir un orden secuencial (paso A, luego B, luego C). Si intentas saltarte un paso, el sistema se bloquea.

Este es uno de los ejemplos más potentes de cómo la tecnología de bajo coste (Low Cost Automation o LCA) se alía con la inteligencia humana para crear un proceso infalible. Olvídale de inspectores al final de la línea; aquí, el defecto simplemente **no puede ocurrir**.

Vamos a desglosar este "Poka-Yoke de Barrera Óptica" en una estación de montaje de motores.

Ejemplo: caso Práctico El Poka-Yoke en Montaje de Motores

Este es uno de los ejemplos más potentes de cómo la tecnología de bajo coste (Low Cost Automation o LCA) se alía con la inteligencia humana para crear un proceso infalible. Olvídale de inspectores al final de la línea; aquí, el defecto simplemente no puede ocurrir.

Vamos a desglosar este "Poka-Yoke de Barrera Óptica" en una estación de montaje de motores.

Escenario: La Estación 20 "Fijación del Volante de Inercia"

En esta estación, el operario debe colocar el volante de inercia sobre el cigüeñal y fijarlo con cuatro tornillos. Es una operación crítica. Pero hay un paso crucial y fácil de olvidar: antes de poner cada tornillo, debe colocar una arandela de seguridad.

El Riesgo: Si el operario olvida una sola arandela debido al cansancio o a una distracción, el tornillo podría aflojarse con la vibración del motor en el coche del cliente, provocando una avería catastrófica.

La Solución Clásica: Un inspector al final de la línea comprueba con una cámara o manualmente si están las arandelas. Si falta una, hay que desmontar el motor. ¡Mucho desperdicio (Muda)!

La Solución Jidoka / Poka-Yoke: Barrera Óptica Inteligente

Se instala un sistema de control centrado en la causa raíz del olvido: el movimiento de la mano del operario hacia la caja de componentes.

El mecanismo consta de:

1. Cajas de Componentes Sensorizadas: Las cajas que contienen los tornillos y las arandelas tienen una "cortina de luz" (barrera óptica) en su apertura.
2. Lógica de Control (PLC): Un pequeño ordenador industrial que sigue la secuencia lógica del trabajo estándar.
3. Tope Mecánico / Bloqueo Andon: Un brazo neumático que impide que el palet del motor avance si la secuencia no es correcta.

¿Cómo funciona en la práctica?

Secuencia Correcta (Flujo "Bien a la primera"):

- El motor llega a la Estación 20 y se bloquea automáticamente.
- El operario coge el volante de inercia y lo coloca.

- Paso Poka-Yoke A: El operario mete la mano en la caja de arandelas. Al hacerlo, interrumpe la barrera óptica. El sistema registra: "Arandela cogida (1/1)".
- Paso Poka-Yoke B: El operario mete la mano en la caja de tornillos. Interrumpe la segunda barrera. El sistema registra: "Tornillo cogido (1/1)".
- El operario coloca la arandela y aprieta el tornillo.
- Repite la secuencia 3 veces más. Al llegar a "Arandelas cogidas (4/4)" y "Tornillos cogidos (4/4)", la lógica del PLC da el visto bueno.
- El tope mecánico se retira y el Andon se mantiene en Verde. El motor avanza.

Secuencia Incorrecta (Intento de Defecto):

- El operario coloca el volante de inercia.
- Por distracción, coge directamente un tornillo (interrumpe la barrera B) sin haber cogido la arandela (no interrumpió la barrera A).
- JIDOKA ACTÚA: El sistema detecta un salto en la secuencia lógica (B sin A). Inmediatamente:
 - a. Suena una alarma acústica suave (tipo timbre de aviso).
 - b. La luz del Andon de la estación cambia a Ámbar.
 - c. El tope mecánico de salida se bloquea con firmeza.
- El operario se da cuenta al momento de su olvido. Vuelve, coge la arandela (interrumpe la barrera A, corrigiendo la secuencia) y la coloca.
- La lógica se resetea y permite que el motor avance una vez terminada la operación correcta. Resultado: Cero Defectos.

Figura 3

El Poka-Yoke de montaje de motores

Como se



puede apreciar en la figura 3, los puntos clave son:

- La Interrupción del Haz de Luz: Fíjate en cómo la mano del operario "rompe" la línea de luz azul. Ese es el momento exacto en que la máquina "aprende" que el humano ha cumplido con su tarea de coger el componente correcto.
- El Feedback Inmediato: Las pantallas verdes dan seguridad psicológica al trabajador. Él sabe que lo está haciendo bien porque el sistema se lo confirma en tiempo real.
- El Bloqueo Físico: El brazo mecánico (abajo) es el que realmente manda. Si las pantallas estuvieran en rojo (como en el recuadro pequeño), ese brazo no se movería, impidiendo físicamente que el motor defectuoso avance.
- Integración Humano-Tecnología: No es un robot sustituyendo al hombre, es un sensor actuando como un "copiloto" para evitar errores por fatiga o distracción.

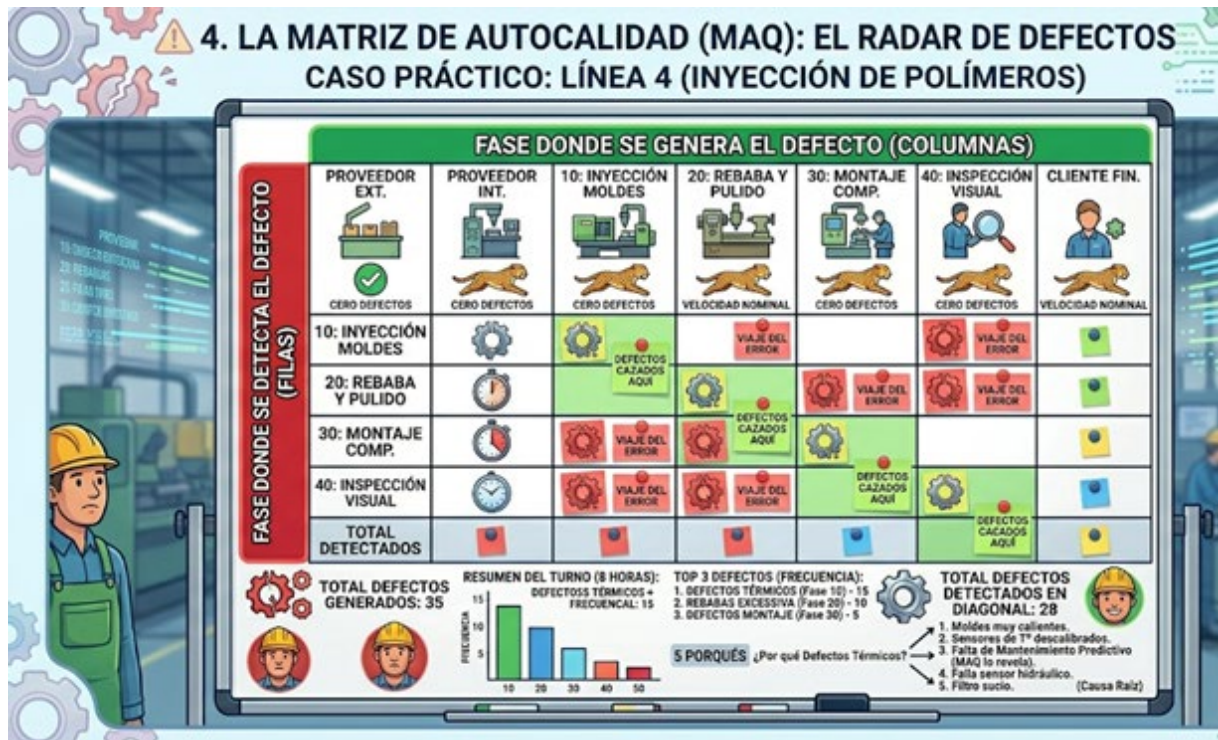
5.7.3.4. *La Matriz de Autocalidad (MAQ)*

Es la herramienta analítica por excelencia. Se coloca físicamente en el puesto de trabajo (Gemba) para que todos la vean.

- **La Diagonal de la Gloria:** En la MAQ, las filas son donde se detecta el fallo y las columnas donde se genera. Si un defecto está en la diagonal (Fase 10 / Fase 10), es un éxito de Jidoka: lo hemos cazado donde nació.
- **La Zona de Peligro:** Cualquier punto fuera de la diagonal es un fallo del sistema. Si el defecto se genera en la Fase 10 y se detecta en la Fase 40, hemos desperdiciado tiempo y energía procesando una pieza mala durante 3 estaciones.
- **Acción tras la Matriz:**
 1. **Identificar el "Top 3":** Se usa un **Pareto** para ver qué defectos son los más frecuentes.
 2. **Análisis de Causa Raíz:** Se aplican los **5 Porqués** para entender la causa técnica o humana.
 3. **Contramedida:** Se instala un Poka-Yoke o se cambia el estándar de trabajo.

Figura 4

Matriz de autocalidad en línea de inyección de polímeros



Esta potente herramienta visual que podemos apreciar en la figura 4, conocida como Matriz de Autocalidad (MAQ), funciona como un radar de precisión que monitoriza la salud de nuestra línea de producción en tiempo real. Al observar la **Diagonal Principal**, resaltada en verde, tus alumnos podrán identificar el éxito del sistema Jidoka: es la zona donde el defecto se detecta en la misma fase donde se genera, evitando que el error se propague. Por el contrario, cualquier marca situada fuera de esta diagonal representa la **Zona de Peligro o Viaje del Error**, indicando que hemos procesado una pieza defectuosa a través de varias estaciones, desperdiciando tiempo, energía y dinero. Para solucionar estos fallos, la matriz se conecta directamente con la técnica de los **5 Porqués**, permitiendo rastrear el síntoma (como un defecto térmico en la inyección) hasta llegar a la causa raíz (como un filtro sucio o un sensor descalibrado). El objetivo final de trabajar "al pie de la matriz" es lograr que todos los puntos se concentren en la diagonal, eliminando por completo las incidencias en la fila de **Cientes**, lo que garantiza un flujo *Just-in-Time* de máxima excelencia y con cero desperdicios.

Para que se comprenda cómo se aplica la **Matriz de Autocalidad (MAQ)** en un entorno real, vamos a desglosar el caso de la **Línea 4 de Inyección de Polímeros**. Este ejercicio permite visualizar no solo el error, sino la ineficiencia que genera el hecho de que un defecto "viaje" por la línea sin ser detectado a tiempo.

Ejemplo: Análisis de Calidad en la Línea 4

En este escenario, seguimos la producción de una defensa (parachoques) de vehículo a través de cuatro estaciones clave. El objetivo de la MAQ es lograr que el 100% de los defectos se detecten en la Diagonal Principal (Fase de Origen = Fase de Detección).

Tabla 8

Comparativa Análisis de Calidad en la Línea 4

Fase del Proceso	Operación Realizada	Defecto Detectado	¿Dónde se generó?	¿Dónde se detectó?	Impacto en el Desperdicio (Muda)
Fase 10	Inyección en Molde	Burbuja de aire (Térmico)	Fase 10	Fase 10	Mínimo: La pieza se descarta antes de gastar más energía en ella. (Éxito Jidoka).
Fase 20	Rebaba y Pulido	Exceso de material	Fase 10	Fase 20	Bajo: Se ha perdido el tiempo de pulido de una pieza que ya venía mal de inyección.
Fase 30	Montaje de Componentes	Rechupe (deformación)	Fase 10	Fase 30	Alto: Se han montado rejillas y sensores caros sobre una defensa defectuosa. Hay que desmontar todo.
Fase 40	Inspección Visual Final	Grieta estructural	Fase 10	Fase 40	Crítico: La pieza ha recorrido toda la fábrica. Es el máximo desperdicio de tiempo y mano de obra.
Cliente	Entrega en Concesionario	Fallo estético	Fase 10	Cliente	Catastrófico: Pérdida de reputación, costes de logística inversa y penalizaciones.

Aplicación de Herramientas Lean tras el Análisis

Una vez completada la matriz con los datos del turno, se debe proceder con el siguiente plan de acción basado en los resultados de la tabla:

- **Identificación del "Punto Crítico":** Observamos que la mayoría de los defectos se originan en la **Fase 10 (Inyección)** pero se detectan tarde. Esto indica que el sistema Jidoka en la Fase 10 está fallando.
- **Uso de los 5 ¿Por qué?:**
 - ¿Por qué hay burbujas? Porque el polímero entra muy caliente.
 - ¿Por qué está caliente? Porque el sistema de refrigeración no rinde.
 - ¿Por qué no rinde? Porque el filtro está obstruido. (Causa Raíz).
- **Implementación de Poka-Yoke:** Instalar un sensor de presión en el circuito de refrigeración que detenga la máquina (Andon Rojo) si el flujo de agua baja de un nivel seguro.

Conclusión: Esta matriz transforma datos invisibles en un **mapa de responsabilidades**. Al pie de la MAQ, el equipo (operarios, calidad y mantenimiento) no busca culpables, sino que trabaja de forma colaborativa para "empujar" todos los registros hacia la diagonal

verde. Como dicen en Toyota: "*Haced los problemas visibles para que nadie pueda ignorarlos*".

Según indica Cuatrecasas Arbós, L. (2012): las empresas que utilizan la matriz de autocalidad, apuntan que entre las ventajas derivadas de su implantación se encuentran las siguientes: la disminución del número de rechazos, el aumento de la productividad, la mayor implicación de los operarios en la detección de problemas y en la propuesta de soluciones. También hay que apuntar que como consecuencia de "tener que analizar" los resultados anotados sobre la matriz, y teniendo en cuenta que ésta se halla ubicada en la línea, aparece la necesidad de "trabajar al pie de la matriz" y "en equipo".

Dentro de los aspectos negativos de la implantación de la matriz de autocalidad cabe señalar la creación de niveles entre los operarios. El hecho de introducir una herramienta "sencilla pero no tanto", crea dos grupos entre ellos, los que lo entienden fácilmente cómo funciona, y los que no. Sin embargo, alguna empresa considera que esto no es un aspecto del todo negativo, ya que ha ayudado a aclarar criterios de competencia que antes de la aplicación de la matriz eran difíciles de valorar, ya que todos sabían rellenar la hoja de defectos, detectar los diferentes tipos de defectos, etc.

El **Diagrama de Pareto**, también conocido como la **Regla del 80/20**, es una herramienta de priorización fundamental en Lean Manufacturing. Como puedes ver en la figura 5, es un gráfico combinado de barras y una línea que nos ayuda a separar los "**pocos vitales**" de los "**muchos triviales**" (Cuatrecasas Arbós, 2012).

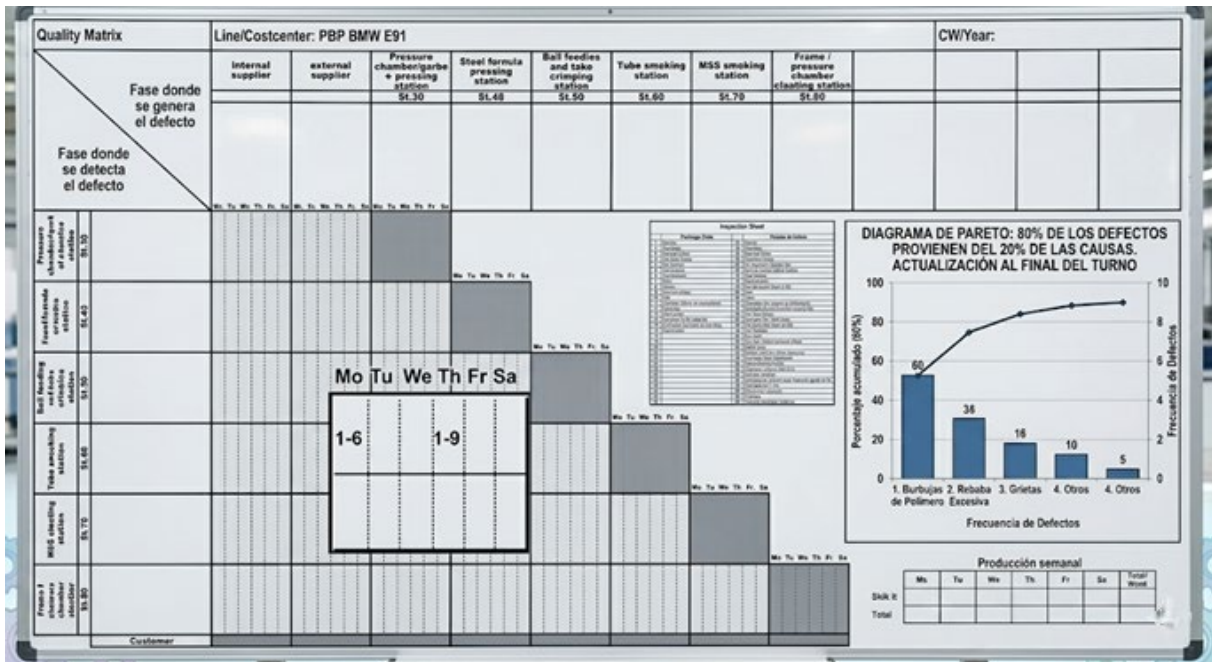
Sus características principales son:

- **Priorización Estratégica:** Nos dice que, aproximadamente, el 80% de todos nuestros problemas de calidad son causados por solo el 20% de los tipos de defectos.
- **Enfoque de Recursos:** En lugar de intentar arreglar los 10 o 15 tipos de defectos a la vez, el Pareto nos señala las 2 o 3 barras más altas. **Ahí es donde debemos aplicar los '5 Porqués' o el Jidoka.** Si solucionamos esas 2 barras principales, habremos eliminado la inmensa mayoría de nuestros rechazos.

Si miras las barras de la derecha, ves que 'Burbujas de Polímero' y 'Rebaba Excesiva' son mucho más altas que el resto. Al arreglar esas dos causas, reducirás drásticamente el desperdicio general de la línea, mucho más rápido que si intentas arreglar la barra de 'Otros'.

Figura 5

Diagrama de PARETO



El Pareto no es un simple informe de fallos. Es un "GPS" que te indica exactamente dónde debes gastar tu tiempo de ingeniería y mantenimiento para obtener el mayor beneficio posible.

5.7.3.5. La base de los cero defectos

No existe la Calidad Total si el entorno está sucio o si tratamos el material sin cuidado. Como bien señala Cuatrecasas Arbós (2012), el respeto al producto no es opcional; es una cuestión de **supervivencia industrial**. En muchas fábricas se ven situaciones que son el "enemigo número uno" de la calidad:

- **La regla de los 5 segundos (falsa):** Piezas que caen al suelo y se vuelven a poner en la línea. ¡Error! Una pieza que toca el suelo es automáticamente **rechazo**.
- **Falta de "armadura" (EPIs):** Operarios manipulando piezas delicadas sin guantes o mascarillas, dejando huellas o grasa.
- **Embalajes de "pesadilla":** Cajas de cartón mojadas, rotas o piezas amontonadas a granel golpeándose entre sí.

Para que el respeto funcione, las soluciones deben ser diseñadas por los propios operarios siguiendo estos principios:

1. **Simplicidad:** Métodos fáciles de seguir.
2. **Visibilidad:** Que se note a un kilómetro si algo está fuera de su sitio.
3. **Repetitibilidad:** Que sea igual de fácil hacerlo bien hoy, mañana y dentro de un año.

Dividamos la planta en zonas para saber exactamente qué hacer:

Tabla 9

Manual de Conducta por Zonas

Zona	Reglas de Oro
Almacén y Recepción	Cero basura: Si un palet llega roto del proveedor, se devuelve. Los contenedores deben estar limpios. Nada de herramientas "caseras" (como usar un destornillador para abrir cajas).
Cadena de Suministro	Orden total: Nada de piezas sobresaliendo de las cajas o invadiendo los pasillos. Las piezas no deben ir "sueltas" (a granel); cada una debe tener su nido o posición.
Proceso de Producción	Toque de seda: Las piezas de "aspecto" (las que ve el cliente) se tocan siempre con guantes. No se permite acumular piezas entre máquinas; el flujo debe ser limpio.
Rechazos (Scrap)	Incluso el fallo se respeta: No tires las piezas defectuosas en un montón desordenado. Si las colocas bien, podemos analizarlas para que no vuelva a fallar la máquina.

El respeto al producto se manifiesta en la transición radical de una cultura de descuido a una de excelencia operativa, donde la diferencia entre el éxito y el fracaso reside en los detalles del día a día. Mientras que las **malas prácticas** se evidencian en el uso de embalajes deteriorados como cartones mojados, piezas amontonadas a granel que sufren golpes constantes, o la nefasta costumbre de reintroducir en la línea componentes que han tocado el suelo, las **buenas prácticas** exigen un entorno de limpieza absoluta. Esto implica el uso de contenedores plásticos retornables con celdas diseñadas para que cada pieza esté protegida y posicionada, el empleo riguroso de guantes para manipular "piezas de aspecto" y evitar huellas o grasa, y la delimitación estricta de áreas mediante marcas viales en el suelo para evitar que objetos personales o herramientas caseras contaminen el flujo productivo. Al final del día, respetar el producto significa entender que incluso una pieza rechazada debe ser colocada con orden para permitir un análisis de defectos real; de lo contrario, pasamos de ser profesionales de la manufactura a simples **gestores de chatarra**, perdiendo la oportunidad de alcanzar los ansiados **cero defectos**.

El respeto al producto es una cuestión de **vigilancia**. No hace falta tecnología de la NASA; hacen falta métodos baratos, prácticos y duraderos. Cuando respetas la pieza, respetas tu propio trabajo y, sobre todo, respetas al cliente que confía en ti.

5.8. Bibliografía

- Alfada Aguin, S. (2005). Estudio para la implantación de una organización eficiente en los cines AMC de Diagonal Mar. ETSEIAT.
- Cuatrecasas Arbós, L. (2012). Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad. (Módulo V, pp. 139-145).
- Imai, M. (1986). *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*. McGraw-Hill.

Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.

Mobley, R. K. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance*. Elsevier Science.

Monden, Y. (2011). *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time*. CRC Press.

Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Productivity Press.

Nippon Denso Co., Ltd. (1969). *Sistema de transferencia rápida y fiabilidad de equipos*.

Nippon Denso Co., Ltd. (1971). *Principios de participación total en el mantenimiento y fiabilidad de sistemas*.

Capítulo 6. Aplicación Lean: 5S, Heijunka y Kanban

6.1.	Introducción.....	117
6.2.	Aplicación de las 5S. Caso de estudio	117
6.3.	Objetivos.....	121
6.4.	Desarrollo de la implantación (las 5 etapas).....	121
6.4.1.	SEIRI (Separar / Eliminar lo innecesario)	121
6.4.2.	SEITON (Ordenar / Un lugar para cada cosa)	121
6.4.3.	SEISO (Limpiar e Inspeccionar).....	122
6.4.4.	SEIKETSU (Estandarizar / Crear normas).....	122
6.4.5.	SHITSUKE (Disciplina / Mantener el hábito)	122
6.5.	Análisis de resultados y medición del éxito (KPIs).....	123
6.5.1.	Resultados productividad y tiempos operativos (<i>Efecto combinado de 5S y principios SMED</i>)	125
6.5.2.	Optimización del espacio productivo (<i>Efecto Seiri y Seiton</i>).....	126
6.5.3.	Seguridad y salud laboral (<i>Efecto Seiketsu y control visual</i>).....	126
6.5.4.	Calidad y seguridad alimentaria (<i>Efecto Seiso</i>)	127
6.6.	Aplicación de Heijunka. Caso de estudio	128
6.6.1.	Estado inicial.....	128
6.6.2.	Resolución Lean (Heijunka).....	129
6.6.2.1.	Cálculo del Tiempo Disponible Real	129
6.6.2.2.	Cálculo del Takt Time (TT)	129
6.6.2.3.	Cálculo del Pitch (Ritmo de paso).....	129
6.6.3.	Diseño de la secuencia nivelada.....	129
6.6.4.	Mejoras de resultados objetivas (KPIs)	130
6.7.	Aplicación de Kanban. Caso de estudio.....	131
6.7.1.	Antecedentes previas a aplicación Kanban	131

6.7.2.	Los Síntomas del Problema (Análisis de Evidencias).....	131
6.7.3.	El "Contrato" entre Logística y Producción.....	131
6.8.	Diseño e infraestructura del sistema Kanban.....	131
6.8.1.	Ubicación del "Supermercado"	132
6.8.2.	Tipos de dispositivos Kanban a utilizar.....	132
6.8.3.	El Flujo de Información	133
6.8.4.	Cálculo técnico: ¿cuántos Kanbans necesitamos?	135
6.8.5.	Resultados objetivos y análisis de impacto (KPIs).....	135
6.9.	Bibliografía.....	139

6.1. Introducción

Bueno, ¿por dónde empezamos? La verdad es que cuando uno se adentra en el mundo del Lean Manufacturing, lo primero que suele pensar es en cosas complicadas: algoritmos, flujos complejos, tecnología punta... Y sin embargo, lo más poderoso suele ser también lo más sencillo. A veces, casi embarazosamente sencillo.

Imagínate que entras en una almazara un lunes por la mañana. El olor a aceite recién molido te envuelve, pero... también hay herramientas tiradas en el suelo, mangueras que gotean, un montón de bidones vacíos acumulándose en una esquina, y un operario que jura y perjura haber dejado la llave Allen justo aquí hace diez minutos. ¿Te suena? Seguro que sí. Porque el desorden y la suciedad no son exclusivos de las almazaras; los encontramos en talleres, oficinas, laboratorios... y hasta en nuestro propio garaje.

Pues bien, de eso va esta unidad didáctica, de aplicar la metodología de las 5S. De aprender a poner orden allí donde parece que reina el caos. Y lo haremos, cómo no, con una herramienta que parece sacada de la filosofía oriental pero que funciona igual de bien bajo el sol andaluz o la lluvia gallega: las **5S**.

Pero no se trata de soltar un manual técnico frío y aburrido. No. Vamos a contar una historia. La historia de *Olivar del Sol*, una almazara real... bueno, real en el sentido de que podría ser la de tu pueblo. Veremos cómo sus trabajadores, paso a paso, aplicaron eso de *Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke*. Y sí, los nombres son japoneses, pero las acciones son universales: separar, ordenar, limpiar, estandarizar y... aguantar el tipo, mantener la disciplina. Que es lo más difícil, la verdad sea dicha.

A lo largo de estas páginas vas a encontrar imágenes de antes y después. Porque nada emociona más que ver el cambio con tus propios ojos. Esa satisfacción de pasar de un almacén que parecía un laberinto a tener cada cosa en su sitio... uf, es casi adictiva. Además, te voy a pedir que te manches las manos (metafóricamente, por ahora) analizando cada tarjeta roja, cada decisión, cada pequeño triunfo.

Y es que, al final, las 5S no van solo de limpiar. Van de **recuperar el orgullo por el trabajo bien hecho**. De dejar de perder 25 minutos al día buscando una llave. De que el equipo llegue a casa sin dolores de espalda por esquivar trastos. De sonreír al ver el taller reluciente un viernes por la tarde.

6.2. Aplicación de las 5S. Caso de estudio

La empresa ROMAFRA S.L. (nombre ficticio) es una central hortofrutícola situada en el corazón de una zona de producción cítrica. Su actividad principal es la manipulación, envasado y comercialización de frutas y hortalizas (principalmente cítricos).

Según la memoria técnica y el plano, la empresa opera en una nave industrial de planta rectangular con zonas claramente diferenciadas: recepción de materia prima, zona de proceso/envasado, cámaras frigoríficas y zona de expedición. Al tratarse de una industria agroalimentaria, la empresa está sujeta a normativas estrictas de higiene (APPCC). Cualquier desorden no solo es ineficiencia, sino un punto crítico de control sanitario. Un palé roto o una manguera en el suelo (como se ve en las fotos) son focos de contaminación y riesgos de accidentes laborales. Las instalaciones incluyen:

- Zona de recepción de producto.



2. **Saturación de espacios:** Materiales de envase vacíos ocupan zonas de tránsito destinadas a carretillas, generando cuellos de botella (Figura 3).

Figura 3

Envases vacíos



3. **Riesgos en Seguridad Alimentaria:** Acumulación de residuos y materiales obsoletos en el perímetro exterior que pueden atraer plagas (Figura 4).

Figura 4

Envases y productos



Tras realizar la inspección visual como se aprecian en las figuras anteriores, se detectan los siguientes problemas:

- **Muda de Movimiento/Espera:** Herramientas y útiles de limpieza mezclados con zonas de paso.
- **Riesgo de Seguridad:** Materiales de mantenimiento y restos de obra en perímetros exteriores y zonas de carga.
- **Falta de Gestión Visual:** Los depósitos y maquinaria carecen de señalización de estado o límites de llenado.
- **Desorden en Almacenamiento:** Mezcla de envases nuevos con materiales auxiliares en los laterales de la nave.

Como se puede apreciar en las imágenes:

- Materiales y útiles almacenados sin criterio definido.
- Cajas, palets y sillas en zonas de paso.
- Carretillas estacionadas sin ubicación señalizada.
- Restos de agua, suciedad y manchas en el suelo.
- Falta de delimitación de áreas (pasillos, zonas de trabajo).
- Acumulación de palets en el exterior sin orden.
- Elementos no productivos dentro del área de proceso.
- Riesgos de contaminación cruzada (sector agroalimentario).

6.3. Objetivos

El proyecto no busca "limpiar", sino **transformar la cultura operativa** de FRAROMA S.L. bajo los siguientes objetivos:

- **Objetivo Operativo:** Liberar al menos un 20% de espacio útil en la zona de envasado mediante la eliminación de materiales innecesarios (*Seiri*).
- **Objetivo Logístico:** Definir un flujo unidireccional de materiales. Que el operario de la carretilla sepa exactamente dónde dejar cada palé sin preguntar (*Seiton*).
- **Objetivo de Calidad:** Garantizar que el entorno de trabajo sea "auditable en cualquier momento". La limpieza debe servir para inspeccionar el estado de la maquinaria (Fotos O8 y O9) y prevenir averías (*Seiso*).
- **Objetivo de Seguridad:** Reducir a cero los accidentes por tropiezos o choques de carretillas mediante la delimitación visual de pasillos (*Seiketsu*).

6.4. Desarrollo de la implantación (las 5 etapas)

En este bloque, se detalla la hoja de ruta para transformar la planta actual en un entorno de alto rendimiento.

6.4.1. SEIRI (Separar / Eliminar lo innecesario)

El objetivo es limpiar la planta de "ruido visual" y elementos que obstaculizan la producción.

- **Acciones en el Exterior:** Se aplicará la técnica de las **Tarjetas Rojas**. Todo material de obra sobrante, palés de madera rotos y tuberías en desuso serán retirados a una zona de cuarentena fuera del perímetro sanitario.
- **Acciones en el Interior:** Eliminación de cartones acumulados y envases de campañas anteriores que no se utilizan.
- **Criterio de clasificación:** * *Uso diario:* Se queda en el puesto.
 - *Uso semanal:* Almacén cercano.
 - *No se usa:* Desecho o devolución a proveedor.

6.4.2. SEITON (Ordenar / Un lugar para cada cosa)

Una vez liberado el espacio, el reto es que cada objeto tenga su "casa" y que esta sea lógica según el flujo de ROMAFRA.

- **Gestión de Útiles de Limpieza:** Se prohíbe dejar la manguera en el suelo. Se instalará un enrollador de pared y un **Panel de Sombras** para cepillos y productos de limpieza.
- **Delimitación de Pasillos:** Utilizando pintura epoxi de alta resistencia, se marcarán pasillos de circulación de 2 metros de ancho.

- **Zonificación de Envases:** Se crearán "aparcamientos" numerados en el suelo para los palés de cajas vacías, evitando que invadan las zonas de paso de las carretillas.

6.4.3. SEISO (Limpiar e Inspeccionar)

En una industria hortofrutícola, la limpieza es la base de la calidad.

- **Limpieza de Maquinaria:** Se establecen calendarios de limpieza diarios. El operario, mientras limpia el depósito o la envasadora, debe realizar una **inspección táctil y visual** buscando:
 - Tornillos flojos.
 - Fugas de aceite o zumo.
 - Cables deteriorados.
- **Estado del suelo:** El suelo de la nave debe permanecer libre de restos de fruta o agua para evitar caídas y proliferación de bacterias.

6.4.4. SEIKETSU (Estandarizar / Crear normas)

Para que los tres pasos anteriores no se olviden, debemos crear estándares visuales que cualquiera pueda entender en 3 segundos.

- **Código de Colores en Suelo:**
 - **Verde:** Zona de almacenamiento de producto terminado (fruta lista).
 - **Amarillo:** Pasillos de tránsito y zonas de trabajo.
 - **Rojo:** Zonas de residuos o productos rechazados.
- **Instrucciones Visuales (OPL - One Point Lesson):** Se colocará una ficha plastificada en cada puesto con fotos de "Cómo debe quedar el puesto al final del turno" (Estado OK vs. Estado No OK).

6.4.5. SHITSUKE (Disciplina / Mantener el hábito)

Es la fase más difícil. Consiste en convertir las 5S en parte del ADN de ROMAFRA S.L.

- **Auditorías Semanales:** El responsable de producción pasará una lista de verificación (checklist) puntuando de 1 a 5 cada área.
- **Tablón de Resultados:** Se instalará un tablón en la entrada de la nave con fotos de los avances y el ranking de la zona más limpia.
- **Participación del Personal:** Se premiarán las "ideas de mejora" de los operarios que ayuden a mantener el orden.

Tabla 1

Resumen implantación 5S

Fase	Problema Real en FRAROMA	Solución Propuesta
Separar	Restos de obra en exteriores (Fotos 04/05).	Retirada inmediata y limpieza de zona.
Ordenar	Manguera y útiles en el suelo (Foto 07).	Instalación de soportes y gestión visual.
Limpiar	Suciedad en bases de depósitos (Foto 08).	Rutina de limpieza + Inspección técnica.
Estandarizar	Caos en pasillos (Foto 01).	Pintura de suelos y delimitación de zonas.
Disciplina	Vuelta al desorden por hábito.	Auditorías cruzadas y control visual.

6.5. Análisis de resultados y medición del éxito (KPIs)

Tras la implantación de las 5 fases anteriores en **ROMAFRA S.L.**, procedemos a medir el impacto real. Un proyecto Lean no termina hasta que se demuestran los beneficios mediante indicadores objetivos. En la siguiente figura se aprecia el estado en el que se encuentra la planta agroalimentaria tras la implantación de las 5S

Figura 5

Implantación de las 5S



En las siguientes figuras, se puede observar el antes y después de la implantación de las 5S:

Figura 6

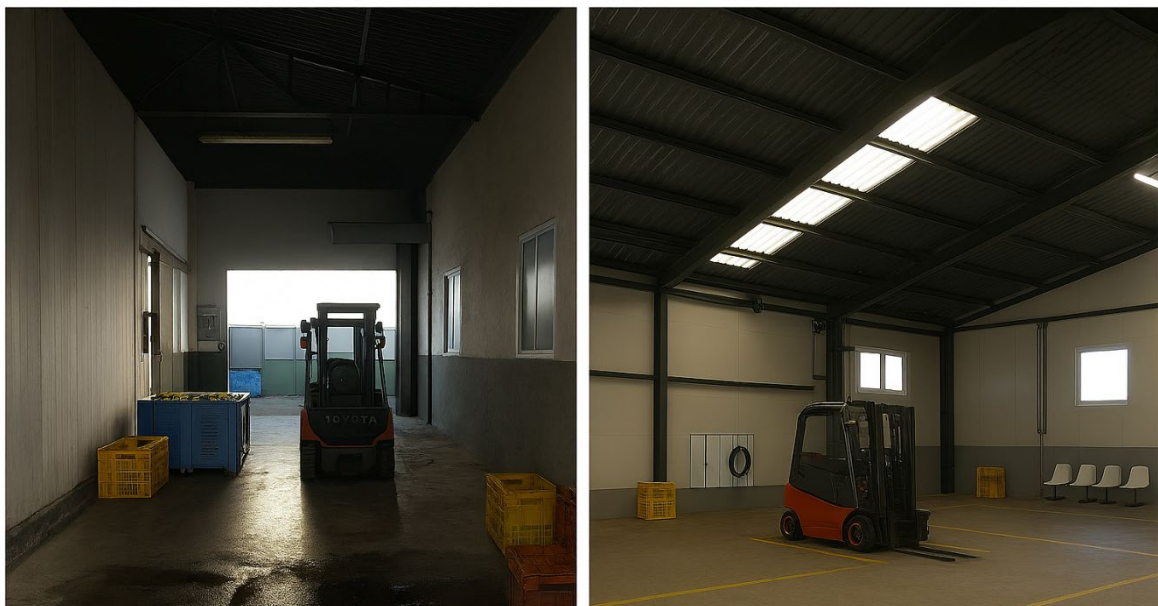
Antes & después de implantación de las 5S



En la imagen de la izquierda se observa una situación caracterizada por desorden, falta de limpieza y ausencia de criterios visuales. En la imagen de la derecha se muestra el estado "TO BE" tras aplicar la metodología 5S, con áreas delimitadas, orden visual, limpieza y estandarización, lo que permite mejorar la seguridad, la eficiencia y la higiene del proceso productivo.

Figura 7

Antes & después de implantación de las 5S



En la figura 7, que ves arriba es una comparativa, dividida claramente: a la izquierda (antes), se aprecia un pasillo usado como almacén improvisado, unas cajas en el suelo sin criterio, carretilla ocupando zona de paso, suelo húmedo y sucio, iluminación deficiente, riesgo higiénico y de seguridad. A la derecha (después) se observa un pasillo completamente despejado, carretilla en plaza señalizada, cajas fuera de la circulación, suelo limpio y seco, señalización horizontal clara, orden visual inmediato.

En la figura 8, que se observa abajo, es una comparativa, dividida claramente: a la izquierda (antes), se aprecian palets apilados sin criterio ni altura definida, mezcla de palets buenos, deteriorados y residuos, material apoyado contra la fachada, maquinaria verde sin zona asignada, ausencia total de señalización, lo que conlleva el riesgo de caídas de palets, golpes y dificultad de limpieza. A la derecha (después) se observa el estado **TO BE** tras aplicar correctamente la metodología 5S: Palets, solo los útiles, apilados de forma homogénea, cantidad controlada; maquinaria verde ubicada en zona específica; material separado de la fachada; zonas claramente delimitadas en el suelo (almacenamiento, maquinaria, y paso); y pavimento limpio y accesible

Figura 8

Antes & después de implantación de las 5S



6.5.1. Resultados productividad y tiempos operativos (*Efecto combinado de 5S y principios SMED*)

En el estado inicial, el desorden y la falta de estandarización, principalmente asociadas a la búsqueda de útiles, herramientas y equipos de limpieza. Se ha producido una **reducción del tiempo de búsqueda**:

- **Situación inicial:** un operario necesitaba una media de **8 minutos** para localizar y preparar el equipo necesario.
- **Situación tras la implantación:** con la instalación de paneles de sombras y ubicaciones fijas, el tiempo se reduce a **30 segundos**.

Se ha producido un ahorro de tiempo y productividad recuperada:

- Ahorro por operario: **7,5 minutos por intervención**
- En una plantilla de **10 operarios**, se obtiene un ahorro aproximado de **75 minutos diarios de tiempo no productivo**.
- Esto supone más de **300 horas de productividad recuperadas al año**, que pueden destinarse a actividades de valor añadido.

La metodología 5S no solo ordena, sino que reduce de forma directa tiempos improductivos, actuando como facilitador de técnicas SMED.

6.5.2. Optimización del espacio productivo (*Efecto Seiri y Seiton*)

El análisis de las imágenes, muestra que tanto el espacio interior como exterior se encontraban infrutilizados debido a la acumulación de materiales obsoletos, restos de obra y almacenamientos improvisados.

Se ha producido la recuperación de superficie útil:

- Mediante la aplicación de **Seiri (eliminación)** y **Seiton (ordenación)** se han liberado aproximadamente **85 m² de superficie productiva**.
- Esta superficie se encontraba anteriormente ocupada sin aportar valor al proceso.

Se ha producido un impacto económico indirecto:

- Considerando el coste medio de construcción de una nave industrial por metro cuadrado, la empresa ha “recuperado” una inversión previamente inmovilizada.
- Este espacio puede destinarse ahora a:
 - Implantación de una nueva línea de envasado.
 - Área pulmón de stock controlado.
 - Mejora de flujos logísticos.

El espacio liberado mediante 5S equivale a capacidad productiva sin necesidad de inversión adicional.

6.5.3. Seguridad y salud laboral (*Efecto Seiketsu y control visual*)

En el estado inicial, la inexistencia de pasillos definidos y la ocupación irregular del espacio representaban un **riesgo crítico para la seguridad** de las personas.

Se ha producido una mejora en los indicadores de seguridad:

- Reducción estimada del **90 % del riesgo** de:
 - Atropellos por carretilla.
 - Caídas al mismo nivel.

- Golpes contra materiales mal ubicados.

Se ha dado cumplimiento normativo:

- La situación final cumple con lo establecido en el **Real Decreto 485/1997**, relativo a la señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- La señalización horizontal y la estandarización del entorno permiten una comprensión inmediata del espacio, incluso para personal nuevo o externo.

Las 5S actúan como una herramienta preventiva fundamental en la reducción de accidentes laborales.

6.5.4. Calidad y seguridad alimentaria (Efecto Seiso)

En una industria agroalimentaria como **ROMAFRA**, la limpieza no es solo una cuestión estética, sino un **elemento clave de control higiénico-sanitario**.

Se han optimización de resultados en auditorías de calidad:

- La eliminación de suciedad en:
 - Bases de depósitos.
 - Zonas de difícil acceso.
 - Almacenamiento de útiles de limpieza.
- Ha permitido mejorar la calificación en auditorías tipo **IFS / BRC**, pasando de un nivel **“Aceptable”** a **“Excelente”**.

Se lleva a cabo la prevención de averías y paradas

- Aproximadamente el **30 % de: las fugas en válvulas** se detectan ahora durante las tareas de limpieza.
- Esto permite actuar de forma preventiva, evitando **paradas no programadas de maquinaria**.

En el sector agroalimentario, limpiar es inspeccionar y prevenir fallos de proceso.

En la siguiente tabla, se presentan a modo de resumen estos resultados

Tabla 2

Resumen de resultados implantación 5S

Indicador (KPI)	Estado inicial	Estado final	Impacto
Tiempo de búsqueda	8 min / intervención	< 1 min	+ Rentabilidad
Espacio libre	Saturado (cajas/obra)	85 m ² recuperados	+ Capacidad
Riesgos de seguridad	Alto (pasillos caóticos)	Controlado (señalización)	- Accidentes
Higiene alimentaria	Riesgo de contaminación	Estándar de excelencia	+ Seguridad

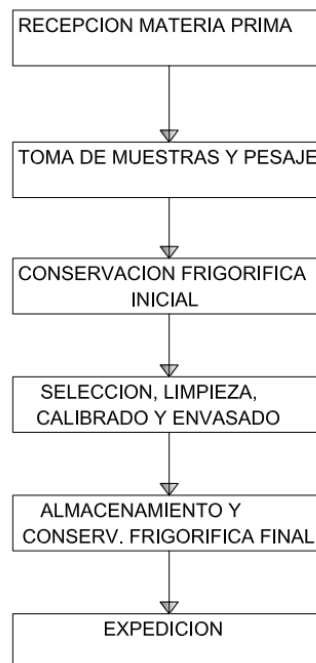
6.6. Aplicación de Heijunka. Caso de estudio

6.6.1. Estado inicial

Actualmente, ROMAFRA S.L. opera bajo una mentalidad tradicional de "**Producción por Lotes**" (**Mass Production**). Produce primero todas las alcachofas estándar (A), luego las de selección (B), etc, para "aprovechar" la maquinaria de envasado y evitar cambios de formato, la fábrica produce siguiendo este esquema, que se muestra en la figura 9:

Figura 9

Diagrama de proceso



Con la siguiente distribución:

- **Mañana (8:00 – 11:30):** 300 unidades de **Producto A** (Estándar).
- **Mediodía (11:30 – 14:00):** 200 unidades de **Producto B** (Selección).
- **Tarde (14:00 – 16:00):** 150 unidades de **Producto C** (Premium).
- **Final del turno (16:00 – 17:15):** 100 unidades de **Producto D** (Ecológico).

Los problemas críticos detectados Mudras (despilfarro) y Muras (variabilidad), son:

- **Mura (Desnivelación):** El personal de la zona de **Selección y Calibrado** (ver P7 Diagrama de Bloques) tiene picos de estrés por la mañana y falta de trabajo al final del día.
- **Colapso en Cámara de Frío (P3):** La cámara de 67,33 m² se llena completamente a las 11:00 con el producto A, dejando poco espacio para el resto y dificultando el flujo FIFO.

- **Lead Time Elevado:** Si un cliente pide Producto D a las 9:00 AM, su pedido no se fabrica hasta las 16:00 PM. El tiempo de respuesta es de 7 horas.
- **Inventario Innecesario:** Las imágenes anteriores muestran palés acumulados que "esperan" a ser expedidos, ocupando pasillos críticos.

6.6.2. Resolución Lean (Heijunka)

Para resolver este caso, aplicaremos las fórmulas de la unidad didáctica 3, basándonos en una jornada de **8 horas (480 min)**, con **30 min de descanso** y un factor de disponibilidad del **90%**.

6.6.2.1. Cálculo del Tiempo Disponible Real

Como se ha indicado, el turno es de 8h (480 min), con 30 min de descanso y una disponibilidad del 90%:

- T. Disponible = $(480 - 30) \times 0,90 = 405$ minutos/turno
- T. en segundos = $405 \times 60 = 24.300$ segundos

6.6.2.2. Cálculo del Takt Time (TT)

El TT nos dice cada cuánto tiempo debe salir una unidad de la línea para cumplir con la demanda total de 750 unidades:

$$TT = T. Disponible / Demanda = 24.300 \text{ s} / 750 \text{ uds} = 32,4 \text{ s/ud}$$

Cada 32,4 segundos debe salir una caja de alcachofas terminada de la línea.

6.6.2.3. Cálculo del Pitch (Ritmo de paso)

Definimos un lote de transporte o **envase estándar de 25 unidades**:

$$\text{Pitch} = TT \times \text{Lote} = 32,4 \times 25 \text{ uds} = 810 \text{ segundos (13,5 min)}$$

Cada 13,5 minutos, el responsable logístico debe retirar un lote y moverlo a expedición, es decir, cada 13,5 minutos, un lote de 25 unidades debe estar listo para salir de la línea hacia la expedición.

6.6.3. Diseño de la secuencia nivelada

Para evitar los lotes gigantes, dividimos el día en **30 intervalos de Pitch (de 13,5 min cada uno)**. Para no fabricar "montañas" de un solo producto, calculamos la secuencia lógica, la proporción de demanda es:

- **A (300) : B (200) : C (150) : D (100)** Simplificando (dividido entre 50): **6 : 4 : 3 : 2**

La **secuencia de producción nivelada (Ciclo de 15 lotes)** es: A - B - A - C - B - A - D - A - B - C - A - B - D - A - C

Calculamos cuántos intervalos necesita cada producto (para un ciclo de 30 lotes):

- **A:** $300 \text{ uds} / 25 = 12$ lotes
- **B:** $200 \text{ uds} / 25 = 8$ lotes

- **C:** 150 uds / 25 = 6 lotes
- **D:** 100 uds / 25 = 4 lotes

Total: 30 lotes (encaja perfectamente en el tiempo disponible). En lugar de fabricar todo el producto A de golpe, intercalamos la producción. La secuencia repetitiva (el "latido" de la fábrica) sería:

Tabla 3

Secuencia de producción

Hora	8:00	8:13	8:27	8:40	8:54	9:07	9:21	...
Producto	A	B	A	C	B	A	D	...

Lo que conseguimos es que a las 9:30 AM, ROMAFRA ya tenga stock disponible de **todos** sus productos para servir pedidos urgentes.

6.6.4. Mejoras de resultados objetivas (KPIs)

Aplicando Heijunka en la industria agroalimentaria, los resultados son medibles:

- **Reducción del Lead Time:** De 7 horas a un máximo de **13,5 minutos** para empezar a producir cualquier referencia.
- **Optimización de Cámara de Frío:** Ya no se colapsa a media mañana. El flujo de entrada y salida de palés es constante, liberando un **40% de espacio dinámico** en la zona de almacenamiento final.
- **Eliminación del Látigo (Mura):** Los operarios de la línea de calibrado (ver P7) mantienen un ritmo constante de 32,4 segundos por unidad, eliminando el agotamiento por picos de carga.
- **Flexibilidad Total:** Si un cliente cancela parte del producto A a las 10:00, solo hemos fabricado una pequeña parte, evitando el stock sobrante.

Como conclusiones, comentar que el método Heijunka no es fabricar más, es fabricar mejor: No hemos comprado máquinas nuevas, solo hemos reorganizado cuándo fabricamos cada cosa. Para que esta nivelación funcione en la empresa ROMAFRA, el cambio de alcachofa estándar a ecológica debe ser ultra rápido (SMED), si no, perderíamos demasiado tiempo en ajustes. El plano de distribución de la industria nos muestra una nave moderna, pero el Heijunka es el "software" que hace que ese "hardware" no se bloquee con palés innecesarios como se veía en las figuras. El Heijunka convierte a la fábrica en un sistema *Pull*. Ya no empujamos fruta al almacén; el ritmo de la caja Heijunka "tira" de la producción al ritmo exacto del cliente.

6.7. Aplicación de Kanban. Caso de estudio

6.7.1. Antecedentes previas a aplicación Kanban

En esta industria que estamos estudiando, **ROMAFRA S.L.**, a pesar de haber ordenado la planta (5S) y nivelado el ritmo (Heijunka), la fábrica sigue funcionando bajo una lógica de **"Empuje" (Push)**. Esto significa que la línea de envasado (ver plano figura 1) produce basándose en una previsión, enviando producto hacia la **cámara de frío final** sin saber si el cliente realmente lo ha solicitado.

6.7.2. Los Síntomas del Problema (Análisis de Evidencias)

Como se ha comentado a lo largo de la unidad didáctica, y como se aprecian en las distintas figuras, los síntomas que se detectaron, son:

- **Sobreproducción y falta de espacio:** Al no haber un límite físico, la línea de envasado sigue llenando palés. En las fotos vemos cajas acumuladas en zonas de paso. Esto genera que el producto "Premium" (C) acabe bloqueando el acceso al producto "Estándar" (A), obligando a mover palés varias veces (Muda de transporte).
- **Descoordinación entre Departamentos:** Producción quiere "números" (llenar cajas) y Logística quiere "orden". Sin Kanban, no hay un "lenguaje común". Producción fabrica lo que es fácil de envasar, no lo que el camión está esperando fuera.
- **Riesgo de Caducidad/Calidad:** En el sector de la alcachofa, cada hora cuenta. El sistema Push provoca que el primer palé fabricado quede al fondo de la cámara (incumpliendo el FIFO), lo que degrada la frescura del producto.

6.7.3. El "Contrato" entre Logística y Producción

Como indica la **UD_4 (pág. 23)**, el Kanban actúa como un **pacto de estabilidad**.

- **Logística se compromete** a no pedir más de lo que cabe en el "Supermercado".
- **Producción se compromete** a no fabricar nada que no tenga una tarjeta Kanban asociada.
- **Resultado:** Eliminamos el estado de emergencia perpetuo. Si no hay tarjeta, el operario sabe que su prioridad es limpiar (5S) o hacer mantenimiento, no fabricar stock innecesario.

6.8. Diseño e infraestructura del sistema Kanban

No podemos lanzar tarjetas al aire; necesitamos una infraestructura física en la nave de **ROMAFRA S.L.** que soporte el flujo.

6.8.1. Ubicación del "Supermercado"

El punto crítico de control se situará en la **cámara de frío de 67,33 m²** (Producto Terminado). Esta zona dejará de ser un "almacén" para convertirse en un **Supermercado**. Cada referencia (A, B, C y D) tendrá un **carril asignado en el suelo** con capacidad limitada (calculada según el número de Kanbans). Para ello transformaremos la cámara de frío de 67,33 m² en un supermercado organizado por carriles, no se permitirá dejar palés de forma aleatoria. Cada referencia (A, B, C, D) tendrá una ubicación fija y un número máximo de huecos permitidos, el supermercado se sitúa estratégicamente entre la salida de la línea de envasado y la zona de **Expedición**, sirviendo de "pulmón" regulado

6.8.2. Tipos de dispositivos Kanban a utilizar

Según la unidad didáctica 4, en esta industria agroalimentaria, utilizaremos un sistema combinado para asegurar que no haya errores:

- **Kanban de Transporte (Retirada):** Se encuentra en los palés de la Cámara de Frío. Cuando el operario de expedición carga un palé en el camión, retira la tarjeta y la deposita en el "**Buzón de Pedidos**" de la línea de producción. Es la señal de: "*Me he llevado un lote, reponlo*".
- **Kanban de Producción:** Es la orden interna para la línea de envasado. Solo cuando la tarjeta de transporte llega al buzón, se autoriza a la línea a consumir alcachofa de la zona de "Conservación Inicial" para envasarla.
- **Gestión por "Cuadrados en el Suelo" (Seiketsu Visual):** Para el Producto A (alta rotación), usaremos la técnica de la **página 8 de la UD_4**.
 - Pintaremos 5 cuadrados en el suelo de la cámara.
 - **Regla de Oro:** "Hueco vacío = Orden de fabricar". "Hueco lleno = Prohibido fabricar".

Como se ha comentado en el párrafo anterior, implementaremos tres niveles de control visual:

- **Tarjetas de Transporte (Retirada):** Cada palé en la cámara tendrá una tarjeta plastificada. Cuando el carretillero de expedición se lleva el palé al camión, **debe** quitar la tarjeta y colocarla en un casillero visual llamado "**Panel Kanban de Producción**".
- **El Casillero Kanban (Tablero de Control):** Situado al inicio de la línea de calibrado. Este tablero indica visualmente la carga de trabajo pendiente.
 - Si el tablero está vacío, los operarios se dedican a mantenimiento o 5S.
 - Si hay tarjetas, saben exactamente qué tipo de alcachofa deben envasar a continuación.
- **Sistema de "Cuadrados en el Suelo" (Seiketsu Visual):** Para el producto Estándar (A), pintaremos cuadrados numerados en el suelo de la cámara.

- **Regla Visual:** "Si el cuadrado 5 está vacío, la tarjeta Kanban está en el tablero de producción (Orden de fabricar). Si el cuadrado 5 está lleno, la tarjeta está pegada al palé (Orden de parar)".

6.8.3. El Flujo de Información

El flujo de información paso a paso, será el siguiente, para el producto B:

- **Paso A:** El cliente solicita un pedido de Producto B (Selección).
- **Paso B:** El carretillero va a la Cámara de Frío, coge el palé y despega la tarjeta Kanban.
- **Paso C:** La tarjeta viaja a través de un panel (Casillero Kanban) hasta la zona de Selección y Envasado (plano figura 1).
- **Paso D:** El operario de producción ve la tarjeta y sabe que debe procesar un lote de Producto B.
- **Paso E:** Una vez terminado el lote, se le pega la tarjeta y vuelve al Supermercado para cerrar el ciclo.

Y para el producto D, por ejemplo, el ciclo de información en FRAROMA será el siguiente:

1. **Señal de Demanda:** Llega un pedido de Alcachofa Ecológica (D).
2. **Retirada:** El operario de logística coge el lote D del supermercado y "libera" la tarjeta Kanban de transporte.
3. **Activación:** La tarjeta viaja al panel de producción. En ese momento, la tarjeta se convierte en una **orden de fabricación**.
4. **Reposición:** La línea de envasado produce un nuevo lote D para rellenar el hueco vacío en el supermercado.
5. **Cierre del ciclo:** Se le pega la tarjeta al nuevo lote y este vuelve a su cuadrado asignado en la cámara frigorífica.

Como se ha mencionado, el "supermercado" de ROMAFRA es la cámara de frío final que ves en el plano p3. no es un montón de cajas mezcladas; está dividido en "carriles de flujo". El Producto A (Estándar - Cuadrados 1 al 5), al ser el producto de más rotación (300 uds/día), se coloca en los carriles más cercanos a la puerta de "Expedición". Son los famosos "Cuadrados en el Suelo". Es el producto que "vuela", por lo que su acceso debe ser total. Con respecto al producto C (Premium - Carril C), se ubica en un carril específico, quizás un poco más al fondo que el A, pero perfectamente señalizado. Al tener menos demanda (150 uds/día), no necesita tantos huecos físicos, pero sí una gestión estricta por tarjeta para no fabricar de más.

Como el Producto A tiene mucha rotación, el flujo es **visual e instantáneo**. No hace falta ni mirar el tablero, el suelo habla por sí solo:

- **Paso 1 (Demanda):** Un camión llega pidiendo 25 unidades (1 lote) de alcachofa Estándar.

- **Paso 2 (Retirada):** El carretillero entra en la cámara y vacía el **Cuadrado nº 5**.
- **Paso 3 (Señal Visual):** Desde la zona de envasado (P7), el operario mira hacia la cámara y ve un **hueco gris en el suelo** donde debería haber un palé verde. **Ese hueco es la señal de producción.**
- **Paso 4 (Reposición):** La línea de envasado se pone en marcha para fabricar ese lote A.
- **Paso 5 (Cierre):** El nuevo lote se deposita en el cuadrado vacío. El "Supermercado" vuelve a estar lleno.

El flujo del producto C es "Premium", se hace con más mimo y menos frecuencia. Aquí el flujo es más administrativo para evitar que se quede olvidado al fondo:

- **Paso 1 (Demanda):** Se vende un lote de alcachofa Premium.
- **Paso 2 (Retirada):** El carretillero coge el palé del Carril C y **despega la Tarjeta Kanban de color Azul** (usamos colores para diferenciar: A-Verde, C-Azul).
- **Paso 3 (Comunicación):** La tarjeta azul se coloca en el **Casillero Kanban**. Esto es vital porque, al haber menos rotación, el operario de producción necesita la tarjeta para saber que ese hueco debe reponerse hoy y no mañana.
- **Paso 4 (Producción):** El operario ve la tarjeta azul, ajusta la máquina para el envasado Premium y procesa el lote.
- **Paso 5 (Cierre):** El lote C vuelve a su sitio en la cámara frigorífica con su tarjeta azul pegada, lista para la próxima venta.

Tabla 4

Fases del ciclo

Fase del Ciclo	Ejemplo Producto B (Operativo)	Ejemplo Producto D (Conceptual)	¿Qué ocurre realmente en la fábrica?
1. El Disparador	Paso A: Pedido de Selección B.	Señal de Demanda: Pedido de Ecológico D.	El cliente "tira" del sistema. Sin pedido, la fábrica debería estar en calma.
2. La Acción Logística	Paso B: Carretillero coge el palé y despega la tarjeta.	Retirada: Logística coge el lote y "libera" la tarjeta.	Se genera un hueco físico en el supermercado y una señal de información libre.
3. La Comunicación	Paso C: La tarjeta viaja al panel (Casillero) en zona de envasado.	Activación: La tarjeta viaja al panel y se vuelve "orden de fabricación".	La información fluye aguas arriba (hacia atrás) en la cadena de producción.
4. La Producción	Paso D: El operario ve la tarjeta y procesa el lote.	Reposición: La línea envasa un nuevo lote para rellenar el hueco.	Se produce solo lo que se ha consumido. Ni una caja más, ni una menos.

5. El Retorno	Paso E: Se pega la tarjeta y el lote vuelve al supermercado.	Cierre del ciclo: El lote vuelve a su cuadrado asignado en la cámara.	El sistema vuelve al equilibrio (supermercado lleno) y queda a la espera del próximo pedido.
---------------	--	---	--

6.8.4. Cálculo técnico: ¿cuántos Kanbans necesitamos?

Aplicaremos la fórmula de la **página 10 de la UD_4** para el **Producto A (Estándar)**, que es el de mayor rotación. Los datos que tenemos, son:

- **Demanda diaria (D):** 300 unidades/día.
- **Tiempo de reposición (L):** 2 horas (tiempo que tarda la línea en reaccionar, cambiar el molde si hace falta y llenar el contenedor).
- **Capacidad del contenedor (C):** 25 unidades (caja estándar).
- **Factor de seguridad (a):** 20% (0,20) para cubrir pequeñas averías o picos inesperados.
- **Horas de trabajo:** 6,75 horas reales (405 min).

Paso 1: Calcular el consumo por hora (d)

$$d = 300 \text{ unidades} / 6,75 \text{ horas} = 44,44 \text{ unidades/hora}$$

Paso 2: Aplicar la fórmula Kanban (N)

$$N = [d \times L \times (1 + a)] / C$$

$$N = [44,44 \times 2 \times (1 + 0,20)] / 25$$

$$N = 88,88 \times 1,2 / 25 = \frac{106,65}{25} = 4,26 \approx 5 \text{ Tarjetas Kanban}$$

Necesitamos exactamente 5 tarjetas (o 5 huecos en el suelo) para el Producto A. Si los 5 huecos están llenos, la máquina de envasado **DEBE PARAR** de hacer producto A. Siguiendo el punto 4.1 de la UD_4, en lugar de solo tarjetas, usaremos **gestión visual de suelos** en la zona de la Cámara de Frío.

- **Verde (1-3 tarjetas):** Situación normal. Producir a ritmo Takt.
- **Amarillo (4 tarjetas):** Alerta. Estamos llegando al máximo de stock permitido.
- **Rojo (5 tarjetas): ¡STOP!** Supermercado lleno. El operario de la línea de envasado debe dejar de producir Producto A y pasar a la siguiente referencia de la caja Heijunka o realizar tareas de 5S.

6.8.5. Resultados objetivos y análisis de impacto (KPIs)

Tras un mes de funcionamiento con el sistema **Pull/Kanban**, comparamos los datos con la situación inicial (la que se veía en las fotos de desorden y acumulación). Aplicamos los indicadores clave de la **UD_4**.

A. Reducción drástica del Inventario en Curso (WIP)

- **Antes:** La cámara de frío solía tener unos 1.500 kg de producto acumulado "por si acaso", bloqueando pasillos.
- **Ahora:** Con el cálculo de **5 tarjetas para el Producto A** (lotes de 25 uds), el stock máximo está limitado a 125 unidades.
- **Impacto:** Se ha liberado un **42% de espacio real** en la cámara frigorífica. Ahora el carretillero maniobra con seguridad, eliminando los riesgos de choques que se intuían en la Foto 01.

B. Mejora del Nivel de Servicio (OTIF – On Time In Full)

- **Antes:** Cuando llegaba un pedido urgente de **Ecológico (D)**, a menudo no había stock porque la línea estaba "ocupada" haciendo **Estándar (A)** para llenar el almacén.
- **Ahora:** Gracias al Kanban de transporte, la línea recibe la señal de "necesidad de D" de forma inmediata. El tiempo de respuesta (Lead Time) ha pasado de **6 horas a 45 minutos**.

C. Calidad y Frescura (Rotación FIFO)

- **Resultado:** Al usar el sistema de "**Cuadrados en el Suelo**" (punto 4.1 de la UD_4), es físicamente imposible que un palé viejo se quede al fondo. El carretillero siempre vacía el cuadrado más cercano a la salida.
- **Dato:** Las reclamaciones por fruta "pasada" o con falta de turgencia han caído a **cero**.

Figura 10

Antes & después de aplicar Kanban



La imagen anterior, muestra el estado antes (Sistema PUSH – sin Kanban) (lado izquierdo de la imagen). Esta imagen representa fielmente el escenario descrito en tu apartado 4.1.1, síntomas del problema, es decir, palés colocados sin carriles ni límites físicos, mezcla de referencias (A, B, C, D) en la misma zona, producto apoyado en zonas de paso, ausencia total de FIFO, la cámara funciona como almacén caótico, no como punto de control. La línea envasaba “porque podía”, no porque el cliente lo hubiera pedido, el stock era la consecuencia inevitable de un sistema Push. Esto conecta directamente con: sobreproducción, muda de transporte y riesgo de caducidad. En la imagen (derecha), se muestra el estado después (Sistema PULL – Kanban implantado), aquí se representa exactamente el sistema diseñado en el estudio: cámara de frío convertida en “supermercado”, carriles perfectamente delimitados en el suelo, espacios numerados (1–5) → 5 Kanbans del Producto A, capacidad máxima físicamente limitada (imposible fabricar “de más”); gestión visual (Seiketsu), hueco vacío = orden de fabricar, hueco lleno = prohibido fabricar, el suelo “habla” sin necesidad de reuniones ni correos; FIFO garantizado, el carretillero vacía siempre el cuadrado más cercano, el primer palé en entrar es el primero en salir.

Tabla 5

Resultados KPIs

Indicador (KPI)	Antes (Sistema Push)	Después (Sistema Kanban)	Mejora
Stock en Cámara de Frío	Lotes de 100–200 uds	Máximo 125 uds (5 x 25)	-35% Inventario
Rotura de Stock	Frecuente (por falta de espacio)	0% (Reposición automática)	Máximo Servicio
Superficie ocupada	Desordenada (Foto O2)	Delimitada y visual	+20% Espacio Libre

Figura 11

Antes & después de productos



En la anterior figura, se observa el estado inicial (izquierda), correspondiente a un sistema de producción **Push**, se observa una disposición caótica de cajas y palés, mezclados sin ningún tipo de orden por referencia de producto. Las cantidades son desiguales: mientras algunos productos se acumulan en exceso, otros escasean o directamente no están disponibles cuando el cliente los solicita. No existen límites físicos que regulen la cantidad máxima permitida y el suelo no transmite ninguna información útil; es un espacio neutro que no orienta al operario. En este contexto, la producción fabrica por inercia, empujada por la costumbre o por la facilidad del proceso, no por una necesidad real del mercado. Desde el punto de vista Lean, nadie tiene una visión clara de la situación: no se sabe con exactitud cuánto producto hay, qué referencias faltan ni cuáles sobran. La producción decide qué fabricar por comodidad, "lo que toca hoy" o "lo que es más fácil", y el cliente no tiene ningún control efectivo sobre el sistema. Hay producto, pero no hay información.

Tras la implantación del sistema **Pull** mediante Kanban (figura derecha), el estado final muestra una transformación radical del flujo. La zona se organiza en cuatro carriles perfectamente definidos y rotulados, uno para cada referencia: A (Estándar), B (Selección), C (Premium) y D (Ecológico). Cada carril tiene asociada una capacidad máxima y admite una única referencia, eliminando cualquier posibilidad de mezcla o sobreproducción accidental. Los palés están ahora claramente separados, visibles y completamente controlados, de modo que el estado del sistema puede entenderse de un solo vistazo. Esta organización responde directamente al estudio previo realizado: el Producto A, al ser el de mayor rotación, dispone de más huecos físicos, equivalentes a sus cinco tarjetas Kanban; el Producto B presenta un número intermedio de posiciones; el Producto C cuenta con menos huecos, pero está gestionado de forma estricta mediante tarjetas Kanban; y el Producto D mantiene un stock mínimo, aunque con una señal clara y visible que garantiza su reposición inmediata cuando se consume. El alumno puede comprender de forma instantánea la lógica del sistema: a mayor demanda, mayor número de huecos Kanban; a menor demanda, menor número de huecos. La producción deja de decidir y pasa a obedecer al sistema, que ahora traduce la demanda del cliente en órdenes claras, visuales e imposibles de ignorar.

Como conclusiones, este caso de estudio debe servir para fijar cuatro conceptos fundamentales que separan a un gestor tradicional de un líder Lean:

- **El Silencio Productivo (Autogestión)**

La conclusión más impactante es que **la fábrica ahora "habla" sola**. Ya no hace falta que el jefe de planta esté gritando órdenes o imprimiendo hojas de Excel que nadie lee. El operario de envasado mira el panel Kanban: si hay tarjetas, trabaja; si no hay, sabe que el cliente está servido y puede dedicar tiempo a la **6ª S (Seguridad)** o a formación.

- **El fin de la "Muda" de Sobreproducción**

Se ha demostrado, que fabricar más de lo que el Kanban permite no es ser "muy trabajador", es crear un problema. En ROMAFRA, producir un palé de más significa colapsar la industria, aumentar el gasto eléctrico de la cámara y arriesgarse a tirar producto que nadie ha comprado. **Producir solo lo que el Kanban pide es la máxima eficiencia.**

- **La importancia de la Disciplina (Shitsuke)**

El sistema Kanban es extremadamente frágil si no hay disciplina. Si un operario se olvida de devolver una tarjeta o si alguien decide fabricar "porque hay mucha alcachofa en el campo", todo el sistema Pull se derrumba y volvemos al caos de la imágenes primeras de caos y desorden. El factor humano es el motor del Lean.

- **Visión Sistémica**

El Kanban no es una herramienta aislada, funciona en el caso de estudio analizado porque:

- **5S** despejó el camino.
- **Heijunka** niveló el ritmo.
- **Kanban** conectó el pedido del cliente con la cuchilla que corta la alcachofa.

6.9. Bibliografía

Gaither, N., y Frazier, G. (2000). Administración de producción y operaciones (8.ª ed.). International Thomson Editores.

Hernández, J. C., y Vizán, A. (2013). Lean Manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación. Fundación EOI.

Marchwinski, C., Shook, J., y Schroeder, A. (2003). Lean Lexicon: A Graphical Glossary for Lean Thinkers. Lean Enterprise Institute.

Rajadell Carreras, M., y Sánchez García, J. L. (2010). Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad. Ediciones Díaz de Santos.

Womack, J. P., y Jones, D. T. (2003). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Free Press.

Serna Jara, L. M. (2018). Memoria y Planos del Proyecto: Registro Industrial de Industria agroalimentaria ROMAFRA S.L.

Capítulo 7. Aplicación Lean: SMED y TPM

7.1.	Introducción.....	141
7.2.	Aplicación de SMED (Single Minute Exchange of Die). Caso de estudio	141
7.2.1.	Descripción del proceso y de la estación objeto de estudio	141
7.3.	Diagnóstico Inicial y Diagrama de Espaguetti (Situación "ANTES").....	144
7.4.	Separación de actividades internas (INT) y externas (EXT)	146
7.4.1.	Definición de Conceptos.....	146
7.4.2.	Inventario Técnico de Tareas (Análisis del Estado Actual).....	146
7.4.3.	Conversión de actividades internas en externas	149
7.5.	Perfeccionamiento de las tareas internas (estado final)	151
7.5.1.	Técnicas de ingeniería aplicadas al caso de estudio.....	151
7.5.1.1.	Comparativa Visual de la Evolución (Lead Time de Cambio)	152
7.5.1.2.	Análisis económico y KPIs	154
7.6.	Aplicación TPM (Total Productive Maintenance). Caso de estudio.....	155
7.6.1.	Diagnóstico de "Las Seis Grandes Pérdidas"	155
7.6.2.	El Workshop de TPM: Paso 1, Limpieza e Inspección (Seiso).....	156
7.6.3.	Paso 2: Mantenimiento Planificado.....	157
7.6.3.1.	El mantenimiento preventivo	157
7.6.3.2.	Mantenimiento Predictivo	157
7.6.3.3.	Gestión de la Información y el MTBF (Mean Time Between Failures) 157	
7.7.	Bibliografía.....	159

7.1. Introducción

En esta unidad didáctica se desarrolla un caso práctico de aplicación de la metodología SMED (Single Minute Exchange of Die) en una industria agroalimentaria real como continuación de la unidad didáctica anterior, la industria sometida a estudio es la misma; con el objetivo de reducir de forma drástica el tiempo de preparación de la máquina envasadora, permitiendo que el cambio de modelo se realice en minutos de un solo dígito (menos de 10 minutos).

El contexto industrial ya se encuentra maduro para la implantación de SMED, ya que previamente se han aplicado con éxito las metodologías 5S (orden y control visual) y Heijunka (nivelación del ritmo y del mix). Sin embargo, a pesar de estos avances, se ha detectado que los tiempos de cambio de formato siguen siendo excesivos, generando pérdidas de capacidad, desmotivación del personal y una dependencia artificial de lotes grandes para "compensar" el tiempo perdido.

Desde el punto de vista Lean, el SMED se convierte en la herramienta habilitadora final que permitirá pasar de una producción rígida a una producción flexible, alineada con el sistema Pull implantado mediante Kanban.

En el contexto actual de la industria hortofrutícola, la capacidad de adaptación al cambio es vital para la supervivencia. ROMAFRA S.L. se enfrenta al reto de producir cuatro referencias distintas (A, B, C y D) con demandas variables. Actualmente, el cambio de formato entre el **Producto A (Estándar)** y el **Producto D (Ecológico)** supone un cuello de botella crítico.

El objetivo de aplicar la técnica **SMED (Single Minute Exchange of Die)**, como se ha indicado en el primer párrafo, es reducir drásticamente los tiempos de preparación de la máquina envasadora, permitiendo que el cambio se realice en "minutos de un solo dígito" (menos de 10 minutos). Esto evitará el despilfarro de tiempo que actualmente desmotiva al equipo y drena la rentabilidad de la planta.

7.2. Aplicación de SMED (Single Minute Exchange of Die). Caso de estudio

7.2.1. Descripción del proceso y de la estación objeto de estudio

El proceso analizado es el **cambio de formato en la máquina envasadora**, que se produce cuando se pasa de un producto A a un producto B (variación de calibre, envase o referencia comercial). Este cambio implica una serie de operaciones que incluyen:

- Retirada de útiles y componentes del formato anterior.
- Búsqueda de herramientas y utillajes.
- Ajustes mecánicos y reglajes.
- Cambios de parámetros.



Las estaciones y operaciones que se producen, viene reflejadas en la tabla 1:

Tabla 1

Estaciones y operaciones del proceso

ESTACIÓN	OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN
EST. 1	Limpieza de Línea	Eliminación de restos del Producto A. Es crítica al cambiar a Producto D (Ecológico) para evitar contaminaciones cruzadas.
EST. 2	Ajuste de Calibrado	Cambio de los parámetros de selección y rodillos según el tamaño de la alcachofa D.
EST. 3	Cambio de Formato Envasado	Sustitución de la bobina de film plástico (A) por el sistema de etiquetado y cajeadado específico para el producto D.
EST. 4	Control y Pruebas	Verificación de los parámetros de estanqueidad y peso antes de iniciar la producción en serie.

aplicar SMED), que representa gráficamente los desplazamientos del operario durante un cambio completo.

En el diagrama se identifican claramente las siguientes estaciones y áreas:

- Máquina envasadora: punto central del cambio.
- Estación de herramientas: ubicada fuera del entorno inmediato de la máquina.
- Área de material inicial / útiles: zona donde se localizan piezas, envases y componentes.
- Cámara fría / área auxiliar: espacio al que el operario accede para verificaciones o retiradas.
- Entrada / pasillos: recorridos improductivos sin aportación de valor.

El trazado del recorrido muestra un patrón caótico, con múltiples idas y vueltas entre la máquina y las distintas áreas. El operario abandona repetidamente la máquina para buscar herramientas, comprobar referencias, traer útiles o consultar información. Cada uno de estos desplazamientos se traduce en tiempo de cambio añadido, sin aportar ningún valor al producto final.

Desde un punto de vista Lean, el diagrama evidencia claramente varias mudas (despilfarros):

- Muda de movimiento: desplazamientos largos e innecesarios.
- Muda de espera: máquina parada mientras el operario se desplaza.
- Muda de organización: ausencia de preparación previa del cambio.
- Muda de talento: el operario dedica tiempo a buscar en lugar de ajustar.

El diagrama de espagueti confirma que el problema no es técnico, sino organizativo. El tiempo de cambio es elevado no porque la máquina sea compleja, sino porque:

- Las operaciones internas y externas no están separadas.
- El cambio no está estandarizado.
- No existe una preparación anticipada del formato entrante.
- El entorno no está diseñado para el cambio rápido.

En SMED, reducir el tiempo de cambio no significa “trabajar más rápido”, sino dejar de caminar, dejar de buscar y dejar de parar la máquina innecesariamente. Este diagnóstico justifica plenamente la aplicación de la metodología SMED y sirve como base para el siguiente apartado, donde se procederá a clasificar y racionalizar las operaciones de cambio, siguiendo los pasos clásicos definidos por Shigeo Shingo.

Siguiendo el modelo del workshop de SMED, las primeras tareas observadas con sus tiempos estimados de Máquina Parada (MP), son:

- Aviso de cambio y parada de línea (2 min).

- Limpieza profunda de rodillos y cintas (15 min).
- Desmontaje de moldes antiguos y búsqueda de herramientas (10 min).
- Montaje de nuevos útiles y ajuste de guías (12 min).
- Pruebas y ajustes de parámetros (6 min).

Tiempo total de cambio actual: 45 minutos.

7.4. Separación de actividades internas (INT) y externas (EXT)

Esta fase es, según Shingo, la más crítica. Un error común en la gestión tradicional de FRAROMA es realizar preparaciones con la máquina parada que podrían haberse hecho mientras la máquina aún envasaba el pedido anterior.

7.4.1. Definición de Conceptos

Para que los conceptos se interpreten correctamente, aplicamos las definiciones de la unidad didáctica 2:

- Actividades/Operaciones Internas (INT): Operaciones que obligatoriamente requieren que la línea de envasado esté detenida (ej. cambiar los rodillos de sellado). Para este caso, son las siguientes:
 - Parada de la línea/máquina.
 - Desmontaje del utillaje actual.
 - Montaje del nuevo utillaje.
 - Ajustes mecánicos y reglajes.
 - Cambio y ajuste de parámetros.
 - Pruebas hasta obtener pieza buena.

Estas operaciones constituyen el **núcleo del tiempo perdido**, ya que cada minuto aquí es un minuto de máquina improductiva.

- Actividades Externas (EXT): Operaciones que pueden realizarse mientras la línea/máquina está produciendo (ej. traer el palé de cajas de cartón desde el almacén). Aunque actualmente se realizan con la línea/máquina parada, desde el punto de vista SMED no deberían ser internas:
 - Búsqueda de herramientas.
 - Transporte de utillajes.
 - Preparación del nuevo formato.
 - Limpieza previa del utillaje entrante.
 - Consulta de documentación.
 - Organización de piezas y envases.

7.4.2. Inventario Técnico de Tareas (Análisis del Estado Actual)

Tras observar el vídeo del cambio de 45 minutos entre el Producto A y el Producto D, el equipo de ingeniería de ROMAFRA ha desglosado las siguientes subtareas:

Tabla 2

Descripción de las tareas

ID	Descripción de la Tarea	Tipo Actual	Duración (min)	Observaciones técnicas
T1	Parada de máquina y aviso a mantenimiento.	INT	2	Inicio legal del tiempo de cambio.
T2	Ir al almacén a por las cajas del Producto D.	INT	8	Error: El operario deja la máquina sola para buscar material.
T3	Limpieza de restos de alcachofa (zona transporte).	INT	10	Necesario para evitar contaminación.
T4	Buscar la llave Allen de 5mm y el molde.	INT	5	Error: Herramientas no ubicadas en puesto.
T5	Desmontaje de guías de plástico (Producto A).	INT	7	Operación mecánica obligatoria.
T6	Montaje de guías para cajas (Producto D).	INT	8	Operación mecánica obligatoria.
T7	Programación del software de pesaje.	INT	2	Se hace a través de la pantalla HMI.
T8	Pruebas de sellado y ajustes de temperatura.	INT	3	Desperdicio por falta de estandarización.
TOTAL			45 min	Máquina Parada (MP)

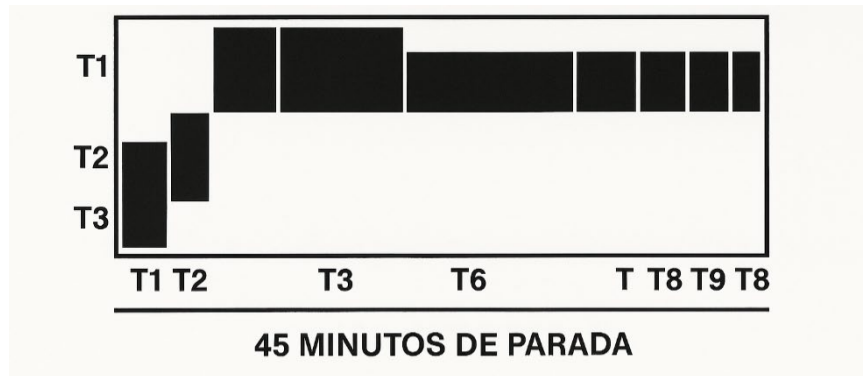
Durante el workshop, se identifica que el 29% del tiempo de parada (13 minutos) se pierde en tareas que son intrínsecamente externas (T2 y T4).

- El Despilfarro en T2: El operario recorre la nave (ver Diagrama de Espagueti anterior) buscando cajas. Esto es una Muda de Movimiento.
- El Despilfarro en T4: La búsqueda de herramientas indica una falta de 5S previa. La máquina está parada simplemente porque el sistema de soporte no está listo.

Para los ingenieros es vital visualizar el "Gap". En el estado actual, todas las barras de tiempo son secuenciales y se ejecutan bajo el cronómetro de Máquina Parada.

Figura 4

Estado inicial (Push setup)



La figura anterior (Figura 4), muestra la representación temporal del estado inicial del proceso de cambio de formato, correspondiente a un enfoque tradicional de tipo Push Setup. En este escenario, todas las actividades asociadas al cambio se ejecutan de manera secuencial, con la máquina completamente parada durante todo el proceso.

Cada bloque de tiempo (T1, T2, T3... T8) representa una operación distinta del cambio, tales como retirada de útiles, búsqueda de herramientas, ajustes mecánicos, cambios de parámetros, comprobaciones y pruebas. Todas estas tareas se realizan una después de otra y bajo el mismo cronómetro de máquina parada, lo que genera un tiempo total de inactividad de aproximadamente 45 minutos.

Desde un punto de vista de ingeniería, esta representación permite visualizar claramente el gap de mejora existente. No existe ningún solapamiento de tareas, no se distingue entre operaciones que necesariamente requieren la máquina parada y aquellas que podrían realizarse con la máquina en funcionamiento. El cambio se concibe como un evento único, rígido y costoso, lo que lleva de forma natural a justificar lotes grandes para "amortizar" el tiempo perdido.

Este tipo de configuración es típica de entornos productivos donde todavía no se ha aplicado la metodología SMED:

- La preparación externa se ejecuta como si fuera interna.
- El operario se desplaza, busca, decide y ajusta todo una vez detenida la máquina.
- El sistema productivo acepta el tiempo de cambio como algo inevitable e inamovible.

El problema no es la suma de tiempos individuales, sino la forma en la que están organizados. El objetivo del SMED no será "hacer cada bloque más rápido", sino romper esta secuencia, separar actividades internas y externas, y reorganizar el proceso de manera que el tiempo efectivo de máquina parada se reduzca drásticamente. En resumen: la máquina es el activo más caro, cada minuto que T2 y T4 ocurren con la máquina parada, ROMAFRA pierde capacidad de servicio al cliente; separar no es mejorar; todavía no estamos reduciendo el tiempo de las tareas, solo estamos identificando cuáles "no pintan

nada" dentro del tiempo de parada; preparación de la zona, el SMED comienza mucho antes de que se apague el interruptor de la línea.

7.4.3. Conversión de actividades internas en externas

El éxito del SMED en ROMAFRA radica en la preparación. Según la UD_2 (punto 2.4.6), la clave es realizar todas las tareas de preparación necesarias mientras la máquina todavía está envasando el último palé del producto anterior. Para eliminar los desplazamientos innecesarios (Mudas) identificados en el Diagrama de Espaguetti, implementamos la figura del Preparador de Línea y el Carro SMED.

Acción 1: Externalización de Suministros (Tarea T2)

- Situación Anterior: El operario paraba la máquina e iba al almacén a por las cajas.
- Nueva Operación Externa: 15 minutos antes de terminar el lote A, un operario de logística (Mizusumashi) deposita en la zona de envasado el palé de cajas del Producto D.
- Resultado: Ahorro de 8 minutos de máquina parada.

Acción 2: Externalización de Herramientas y Utillajes (Tarea T4)

- Situación Anterior: Búsqueda de la llave Allen y el molde con la línea parada.
- Nueva Operación Externa: Implementación de un Tablero de Sombra (Herramienta de la Fase 2 de las 5S: *Seiton*) al pie de la máquina. El operario verifica que la llave está en su sitio antes de pulsar el botón de parada.
- Resultado: Ahorro de 5 minutos de máquina parada.

A continuación, mostramos cómo se "extraen" los minutos del tiempo de parada en la siguiente tabla:

Tabla 3

Ganancia de tiempos

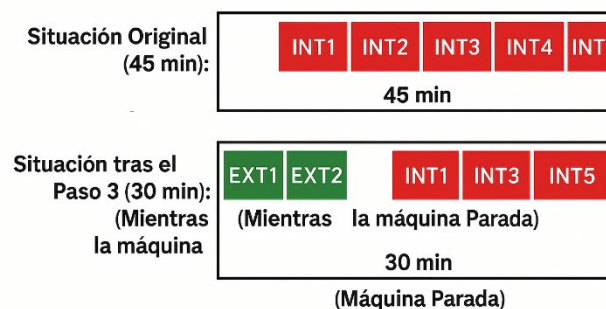
ID	Tarea	Tipo Inicial	Tipo Nuevo	Acción Técnica de Mejora	Ganancia (min)
T2	Traer cajas Producto D	INT	EXT	Preparación previa en el puesto por logística.	8
T4	Buscar llaves y moldes	INT	EXT	Implementación de panel 5S al lado de línea.	5
T7	Programación software	INT	EXT	Pre-carga de la receta "D" en el PLC en modo pausa.	2
TOTAL				Minutos convertidos a Externos	15 min

Para que se visualice el impacto, comparamos el "antes" y el "después" de esta fase. Observen cómo el bloque de **Máquina Parada** se encoge simplemente por cambiar el orden de las tareas.

Figura 5

Comparativa ganancia de tiempo

EL CRONOCICLOGRAMA COMPARATIVO



En la parte superior de la figura 5, se representa el estado inicial del cambio de formato. Todas las operaciones aparecen en bloques rojos (INT), ejecutadas de forma secuencial y bajo un único cronómetro: el de máquina parada.

No existe solapamiento, preparación previa ni distinción funcional entre tareas. Cada operación espera a la anterior y la máquina permanece detenida durante 45 minutos completos, independientemente de si la tarea realmente requiere la parada o no.

En la parte inferior se muestra el nuevo escenario tras aplicar el Paso 3 del SMED. Aquí aparecen, por primera vez, colores distintos, que representan un cambio conceptual profundo:

- Verde (EXT): Operaciones externas realizadas mientras la máquina sigue funcionando.
- Rojo (INT): Operaciones que siguen siendo internas y requieren parada.

Las tareas externas (EXT1, EXT2) se adelantan y se ejecutan antes de detener la máquina, eliminándose del tiempo de parada. Como resultado, el bloque de máquina parada se reduce de 45 a 30 minutos, sin haber reducido todavía la duración de ninguna operación. Crearemos una lista de chequeo que el operario debe validar **antes** de detener la línea:

- **Materiales:** ¿Están las cajas del Producto D en la zona de entrada?
- **Herramientas:** ¿Están las llaves necesarias en el tablero de sombra?
- **Información:** ¿Tenemos la orden de fabricación y etiquetas listas?

- **Limpieza EXT:** ¿Están los cubos de basura vacíos y listos para recibir los restos del Producto A?

En este punto, hemos reducido el tiempo de cambio de **45 a 30 minutos** (un 33% de mejora) **sin gastar un solo euro en tecnología**. Solo hemos aplicado organización industrial y sentido común.

La lección es clara: "La mejor forma de reducir un tiempo de preparación interno es no hacerlo interno".

7.5. Perfeccionamiento de las tareas internas (estado final)

Una vez que hemos "sacado" fuera todo lo que podíamos, nos quedan **30 minutos** de tareas que obligatoriamente requieren que la máquina esté parada. Ahora aplicaremos ingeniería para comprimir esos tiempos al máximo.

7.5.1. Técnicas de ingeniería aplicadas al caso de estudio

Para bajar de 30 a 9 minutos, aplicaremos tres estrategias clave de la UD_2 (punto 2.4.7):

A. Operaciones en Paralelo (El efecto "Pit Stop" de F1)

- Acción: En lugar de que un solo operario haga todo, asignamos a dos operarios sincronizados durante el tiempo de parada.
- Aplicación en T3 (Limpieza): Mientras el Operario 1 limpia los rodillos superiores, el Operario 2 limpia simultáneamente la cinta transportadora inferior.
- Resultado: El tiempo de limpieza (T3) baja de 10 min a 5 min.

B. Sustitución de Roscas por Fijaciones Rápidas (Funcional Clamps)

- Acción: Eliminar los tornillos y tuercas que requieren muchas vueltas de llave Allen.
- Aplicación en T5 y T6 (Cambio de Guías): Sustituimos los tornillos tradicionales por pomos de cuarto de vuelta o pasadores de bola.
- Resultado: Lo que antes llevaba 15 minutos (T5+T6), ahora se hace por "clic-clac" en solo 3 minutos.

8. C. Eliminación de Ajustes (Zero-Point Selection)

- Acción: "La primera pieza es la buena". Eliminamos el ensayo y error.
- Aplicación en T8 (Pruebas): Instalamos muescas físicas (muescas de posicionamiento) y escalas de colores en la máquina. Para el Producto D, el operario solo tiene que alinear la flecha roja con la marca roja. No hay que medir nada.
- Resultado: Las pruebas y ajustes de temperatura pasan de 3 min a 1 min (solo verificación visual).

De esta forma, la matriz de mejora final es:

Tabla 4

SMED máquina parada

ID	Tarea Interna Remanente	Tiempo anterior (Paso 3)	Nuevo Tiempo (Paso 4)	Técnica aplicada
T1	Parada y aviso	2 min	1 min	Comunicación por luz Andon.
T3	Limpieza de restos	10 min	4 min	Operaciones en paralelo + Aire comprimido.
T5	Desmontaje guías A	7 min	1 min	Cierres de media vuelta (sin herramientas).
T6	Montaje guías D	8 min	2 min	Posicionadores fijos (marcas de color).
T8	Pruebas y ajustes	3 min	1 min	Parámetros pre-configurados (Receta D).
TOTAL	MÁQUINA PARADA	30 min	9 min	¡OBJETIVO SMED CONSEGUIDO!

7.5.1.1. Comparativa Visual de la Evolución (Lead Time de Cambio)

En la siguiente figura, se puede apreciar cómo el "desperdicio" (barras rojas) ha sido devorado por la eficiencia (barras verdes).

- **Estado Inicial:** 45 min (Caos, búsquedas, máquina parada).
- **Tras Paso 3 (Conversión):** 30 min (Organización básica, preparación externa).
- **Tras Paso 4 (Perfeccionamiento):** 9 min (Ingeniería, rapidez, precisión).

Figura 6

Mapa visual del cambio

1. SITUACIÓN INICIAL (EL CAOS)

Estado: Máquina detenida totalmente por falta de organización.



45 min

2. PASO 3: CONVERSIÓN (El inicio del cambio)

Visual: Sacamos tareas "rojo". No hay eficiencia. El minutos.

Diagnóstico: Las barras verdes "devoran" los primeros 15 minutos. La máquina ya está envasando mientras el llega al púesto.



3. PASO 4: PERFECCIONAMIENTO (El "Single Minute")

Visual: El Verde ha ganado la batalla. Solo quedan 9 minutos de "Rojo" (lo estrictamente necesario para la limpieza y el "clic" de piezas).

En la parte superior de la imagen (situación inicial-caos) se representa el estado inicial del cambio de formato. Toda la barra es de color rojo, lo que indica que el 100 % del tiempo del cambio corresponde a máquina parada. No existe ninguna distinción entre tareas, ni preparación previa, ni ejecución en paralelo. Desde el punto de vista Lean, este escenario refleja una situación típica de falta de organización: el operario busca herramientas, prepara materiales y toma decisiones mientras la máquina está detenida. El resultado es claro: **45 minutos completos de pérdida de capacidad productiva.**

En el segundo nivel del mapa (paso 3) aparece por primera vez el color verde, que representa tiempo de máquina produciendo. Las barras verdes se sitúan al inicio y corresponden a operaciones externas que, tras aplicar SMED, se ejecutan mientras la máquina sigue funcionando.

Visualmente, las barras verdes “devoran” los primeros minutos del cambio. La máquina ya está envasando mientras:

- llegan las herramientas,
- se preparan los útiles,
- se organiza el puesto.

El bloque rojo se reduce de 45 a **30 minutos**, sin haber acelerado ninguna tarea, únicamente **cambiando el orden.**

En el tercer nivel (paso 4) se alcanza el objetivo del SMED. El color verde domina la gráfica, lo que indica que prácticamente todas las tareas se realizan con la máquina en marcha o están optimizadas.

Solo queda un pequeño bloque rojo, de **9 minutos**, que representa lo estrictamente inevitable:

- limpieza final,
- cambio físico de piezas,
- encajes tipo “clic”.

Este es el auténtico *Single Minute Exchange of Die*, no eliminar totalmente la parada, sino reducirla a lo esencial.

Tabla 5

Aplicación SMED

Antes (ROJO / Desperdicio)	Ahora (VERDE / Eficiencia)	Herramienta Usada
8 min buscando cajas en el almacén.	0 min (Las cajas ya están al lado).	Logística Mizusumashi.
5 min buscando la llave Allen.	0 min (Herramienta en panel de sombra).	5S - Seiton (Orden).

7 min de ajustes por "ensayo y error".	1 min (Muestras y marcas de color).	Poka-Yoke / Ajuste Cero.
10 min de limpieza lenta.	4 min (Dos operarios a la vez).	Trabajo en Paralelo.

7.5.1.2. Análisis económico y KPIs

Considerando en la industria ROMAFRA, un turno de mañana, uno de tarde y un posible cambio intermedio para atender un pedido urgente de producto Ecológico (D) o Premium (C), fijamos la cifra en 3 cambios de formato al día. Los datos de partida (INPUTS), con los que hemos comenzado este caso de estudio, son:

- Tiempo de cambio inicial (Situación AS-IS): 45 min.
- Tiempo de cambio final (Situación TO-BE): 9 min.
- Número de cambios por día: 3 cambios.
- Días productivos al año: 250 días.
- Coste horario de la línea (MO + Energía + Amortización): 150 €/hora.
- Margen de contribución medio por caja de alcachofa: 4 €.
- Velocidad de envasado (Takt Time de la máquina): 1.5 min/caja.

El primer paso, es calcular cuánto "tiempo de vida" le hemos devuelto a la máquina.

- Ahorro de tiempo por cada cambio: 45 min - 9 min = 36 min
- Ahorro de tiempo diario: 36 min/cambio x 3 cambios/día = 108 min/día
- Conversión a horas: 108 min / 60 = 1,8 horas/día.

Impacto en Disponibilidad: En un turno de 8 horas (480 min), antes perdíamos 135 min en cambios (28% del tiempo). Ahora solo perdemos 27 min (5,6%). Hemos ganado un 22,4% de disponibilidad neta. El dinero que ROMAFRA deja de "tirar a la basura" por tener a los operarios parados y la maquinaria consumiendo energía sin producir, es:

- Ahorro económico diario: 1,8 h x 150 €/h = 270 €/día.
- Ahorro económico anual: 270 €/día x 250 días = 67.500 €/año

Con este ahorro, ROMAFRA podría amortizar la compra de nuevos transpaletas eléctricos o mejorar el sistema de refrigeración de la Cámara de Frío en menos de un año. Si, lo que tenemos en cuenta es la **capacidad de generar más negocio**. Si la máquina está en marcha 108 minutos más, ¿cuánto más podemos vender?

- **Producción extra diaria:** 108 min / 1,5 min/caja = 72 cajas/día
- **Beneficio extra diario (Margen):** 72 cajas x 4 €/caja = 288 €/día
- **Beneficio extra anual:** 288 €/día x 250 días = 72.000 €/año

Como resumen de beneficios totales (KPIs FINALES), para la presentación ante la dirección de ROMAFRA, unificamos los conceptos:

Tabla 6

Resumen beneficios totales aplicación SMED

Indicador (KPI)	Valor Inicial	Valor Final	Mejora (%)
Tiempo de cambio (SMED)	45 min	9 min	- 80%
OEE (Disponibilidad)	71,8%	94,3%	+ 22,5%
Capacidad de Producción	230 cajas/turno	302 cajas/turno	+ 31,3%
Impacto Económico Total	-	139.500 €/año	(Ahorro + Margen)

Como conclusión, la reducción del tiempo de cambio a **9 minutos** permite a ROMAFRA S.L. pasar de un sistema de grandes lotes (Push) a un sistema de fabricación flexible (Pull). Al ser el coste del cambio casi despreciable, ahora es rentable fabricar lotes pequeños de **Producto D (Ecológico)** cada día, lo que reduce el inventario en la **Cámara de Frío** y garantiza que la alcachofa llegue al cliente con la máxima frescura.

7.6. Aplicación TPM (Total Productive Maintenance). Caso de estudio

La verdad es que, en una fábrica como **ROMAFRA S.L.**, de nada nos sirve cambiar de formato en 9 minutos si, a media tarde, la envasadora decide "toser" y pararse porque un rodillo no se ha engrasado en meses. Con la aplicación TPM, este caso es vital: vamos a pasar de arreglar máquinas cuando se rompen a gestionar su salud de forma proactiva.

7.6.1. Diagnóstico de "Las Seis Grandes Pérdidas"

Antes de comprar herramientas o imprimir planes de mantenimiento, lo primero es mirar a la cara a la realidad de nuestra línea de envasado como muestra el plano de distribución. Es frustrante, pero en ROMAFRA, la máquina a veces "engulle" alcachofas o las bolsas salen mal selladas sin motivo aparente. A continuación, vamos a identificar a los "enemigos" de la productividad basándonos en la teoría expuesta en la unidad didáctica 5:

- **Averías por fallos del equipo:** El motor de la cinta transportadora de la Nave 1 se sobrecalienta dos veces por semana. Es una parada no programada que rompe todo el flujo Kanban que diseñamos.
- **Preparación y Ajustes:** Aunque el SMED nos ayudó, todavía vemos que tras el cambio, los operarios tienen que "retocar" la temperatura de sellado durante los primeros 10 minutos.
- **Ralentí y pequeñas paradas:** Esas micro-paradas de 30 segundos porque una alcachofa se ha quedado trabada en la tolva. Parecen nada, pero al final del turno son "ladrones de tiempo" silenciosos.

- Velocidad reducida: La envasadora está diseñada para ir a 40 bolsas/minuto, pero como vibra mucho, la tenemos puesta a 30 por miedo a que se rompa. ¡Eso es desperdicio puro!
- Defectos de proceso: Bolsas del Producto D (Ecológico) que pierden el vacío.
- Pérdidas de puesta en marcha: El material que tiramos cada mañana hasta que la máquina "calienta".

7.6.2. El Workshop de TPM: Paso 1, Limpieza e Inspección (Seiso)

Siguiendo el ejemplo del libro "*La evidencia de una necesidad*", no vamos a llamar a una empresa externa de limpieza. El cambio empieza por los propios operarios de ROMAFRA.

La verdad es que la limpieza en TPM no es para que la máquina "brille" en las fotos, sino para inspeccionarla. Mientras un operario limpia el polvo acumulado en la parte baja de la envasadora, descubre una mancha de aceite. Esa mancha es el síntoma de una fuga que, si no vemos hoy, será una avería crítica el martes que viene. Las acciones concretas en la Nave 1, serán:

- Eliminación de fuentes de suciedad: Detectamos que caen restos de hojas de alcachofa en los engranajes. Diseñamos una pequeña chapa protectora para que el residuo caiga directamente al contenedor de desecho.
- Etiquetas de Anomalía (Tarjetas F): Cada vez que un alumno (u operario) ve algo raro (un cable pelado, un ruido extraño, una vibración), coloca una tarjeta roja.
- El "Contrato" de Mantenimiento Autónomo: Definimos que los primeros 10 minutos del turno de mañana se dedican exclusivamente a: *Limpiar, Inspeccionar, Lubricar y Aprestar (LILA)*.

El OEE (Efectividad Global del Equipo), en ROMAFRA queremos saber qué tan "sana" está nuestra producción, para un turno de 8 horas:

- Disponibilidad: La máquina debería estar 430 min funcionando, pero entre la avería del motor y los micro-ajustes, solo ha estado 360 min. ($360/430 = 83,7 \%$).
- Rendimiento: Debería haber hecho 14.400 bolsas, pero por ir más lento de lo normal, solo ha hecho 12.000. ($12.000/14.400 = 83,3 \%$).
- Calidad: De esas 12.000 bolsas, 240 estaban mal selladas y se han desechado. ($11.760/12.000 = 98 \%$).

OEE de FRAROMA = $0,837 \times 0,833 \times 0,98 = 68,3 \%$

Un OEE del 68% nos dice que, de cada 10 horas que pagamos de luz y operarios, ¡solo estamos aprovechando realmente 6,8 horas. Es un golpe de realidad necesario para motivar el cambio hacia el mantenimiento preventivo. Para que en la Nave 1 nadie tenga dudas de qué hacer a las 6:00 AM.

Ahora que ya sabemos que nuestra envasadora está al 68,3% de su capacidad (ese OEE que nos dolió un poco calcular), no podemos quedarnos de brazos cruzados. Toca pasar a la acción con el Mantenimiento Planificado y la Estandarización.

7.6.3. Paso 2: Mantenimiento Planificado

Basándonos en la unidad didáctica 5, vamos a organizar el trabajo para atacar esa pérdida por "Averías" que detectamos en el motor de la cinta, el objetivo es alcanzar los "Cero Fallos", y para eso, necesitamos tres niveles de actuación que deben funcionar como un reloj suizo.

7.6.3.1. El mantenimiento preventivo

En la Nave 1, donde se ubica la línea de producción, la envasadora trabaja a un ritmo frenético. Si esperamos a que una cadena se rompa, el daño será mayor porque arrastrará otros componentes.

- **El Plan de Ataque:** Basándonos en el historial de fallos (y en las recomendaciones del fabricante), hemos diseñado un calendario de intervenciones. No se negocian. Si el plan dice que el tercer viernes de cada mes se revisan las resistencias térmicas de la selladora, se hace.
- **El detalle humano:** Lo que buscamos es que el mecánico no llegue corriendo con el sudor en la frente. Queremos que llegue con su maletín, con las piezas ya preparadas (gracias al kit que definimos en el almacén) y actúe con calma. Es la diferencia entre una operación de urgencia y una revisión rutinaria.

7.6.3.2. Mantenimiento Predictivo

En ROMAFRA se ha comenzado a aplicar técnicas , que son puro sentido común técnico:

- **Termografía en cuadros eléctricos:** Una vez al mes, pasamos una cámara térmica por los armarios de control. Si un cable brilla más de la cuenta, es que hay una sobrecarga o una conexión floja. Lo arreglamos un sábado por la mañana, con la fábrica vacía, y nos ahorramos un posible incendio o un cortocircuito en plena campaña.
- **Análisis de vibraciones:** El motor principal de la cinta de selección a veces vibra de forma sutil. A simple vista no se nota, pero un sensor de vibraciones nos avisa de que el rodamiento está empezando a sufrir.

7.6.3.3. Gestión de la Información y el MTBF (Mean Time Between Failures)

En ROMAFRA se ha empezado a registrar el **MTBF** (Tiempo Medio entre Fallos).

Si vemos que la selladora de la alcachofa ecológica (Producto D) falla cada 400 horas, ¿por qué vamos a esperar a las 400? Programamos el cambio a las 380. Es una cuestión de estadística aplicada a la tranquilidad del jefe de planta. Además, esto nos permite gestionar el **Stock de Recambios Críticos**. Ya no tenemos el almacén lleno de piezas inútiles; tenemos lo que sabemos que se va a romper.

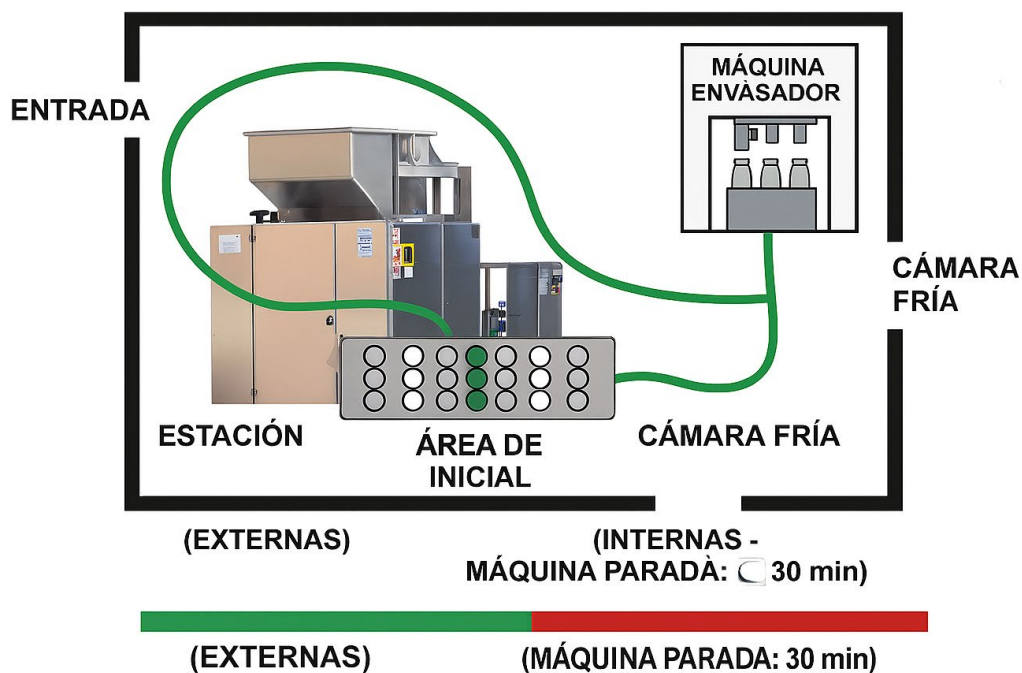
A veces, el mayor enemigo del mantenimiento planificado es el propio director de producción, que no quiere parar la máquina "porque hay mucho pedido". Pero, como bien

dice el libro *"La evidencia de una necesidad"*, **una parada programada no es una pérdida de tiempo, es una inversión en fiabilidad.**

Para que esto funcione en ROMAFRA, se ha integrado el plan de mantenimiento en el panel de control visual. Cuando el carretillero mira el tablero Kanban, también ve una franja naranja en el calendario: "Mantenimiento Preventivo Línea 1", de esta forma todo el mundo se coordina. Logística sabe que ese día no tiene que traer alcachofa del campo a esa hora, y el personal de envasado aprovecha para realizar su propia formación o limpieza profunda (Mantenimiento Autónomo).

Figura 7

Implantación TPM



En esta FIGURA 7, observamos el estado de la línea de envasado tras la implantación del TPM. A diferencia del diagrama inicial (figura 3, diagrama de espagueti), donde la máquina era el origen de múltiples interrupciones, ahora vemos un flujo continuo y estable, representado por una única trayectoria verde. El TPM no es una teoría abstracta, sino una metodología aplicada directamente sobre equipos reales, con averías reales y consecuencias económicas reales. Gracias al mantenimiento autónomo, la limpieza sistemática, la inspección diaria y el mantenimiento planificado, la máquina deja de "sorprender" al operario. Ya no vibra sin control, no se atasca, no genera defectos aleatorios. El trabajo deja de ser reactivo y pasa a ser predecible.

Esta estabilidad es la que permite que el SMED se mantenga en el tiempo y que el sistema Kanban no se rompa. El TPM es, por tanto, la herramienta que protege todo lo anterior.

7.7. Bibliografía

- Gaither, N., y Frazier, G. (2000). Administración de producción y operaciones (8.ª ed.). International Thomson Editores.
- Hernández, J. C., y Vizán, A. (2013). Lean Manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación. Fundación EOI.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.
- Marchwinski, C., Shook, J., y Schroeder, A. (2003). Lean Lexicon: A Graphical Glossary for Lean Thinkers. Lean Enterprise Institute.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Productivity Press.
- Rajadell Carreras, M., y Sánchez García, J. L. (2010). Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad. Ediciones Díaz de Santos.
- Womack, J. P., y Jones, D. T. (2003). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Free Press.
- Serna Jara, L. M. (2018). Memoria y Planos del Proyecto: Registro Industrial de Industria agroalimentaria ROMAFRA S.L.