

# Herramientas *Lean*

Salvador Busquets

PID\_00219699



# Índice

|  |    |
|--|----|
| <b>1. Herramientas <i>Lean</i></b> .....                       | 5  |
| 1.1. Diagrama del flujo de valor (VSM) .....                   | 5  |
| 1.1.1. Construcción del diagrama de flujo de valor (VSM) ..... | 7  |
| 1.2. 5S .....  | 12 |
| 1.3. Seis Sigma ( $6\sigma$ ) .....                            | 17 |
| 1.4. Mantenimiento total productivo (TPM) .....                | 20 |
| 1.5. Mejora continua. PDCA. (Kaizen) .....                     | 21 |
| 1.6. Cambio rápido de referencia (SMED) .....                  | 21 |
| 1.7. <i>Poka Yoke</i> .....                                    | 25 |
| 1.8. AMFE .....  | 25 |
| 1.9. Kanban .....  | 26 |





## 1. Herramientas *Lean*

En el módulo anterior se han mencionado las herramientas que propone el sistema de *Lean Management* para atacar el despilfarro (muda):

- Diagrama del flujo de valor (VSM)
- 5S
- Seis Sigma ( $6\sigma$ )
- Mantenimiento total productivo (TPM)
- Mejora continua. PDCA. (Kaizen)
- Cambio rápido de referencia (SMED)
- *Poka Yoke*
- AMFE
- Kanban

Hay herramientas de análisis, como el diagrama del flujo de valor (VSM), el Seis Sigma, el AMFE, y herramientas de mejora, como las 5S, el mantenimiento total productivo, el cambio rápido de referencia y el ciclo PDCA (rueda de Deming). Y herramientas que determinan el sistema operativo del proceso, como *Poka Yoke* o Kanban.

Las herramientas que tienen una utilización transversal en compañías de todos los sectores (productivo, servicios, etc.) son el VSM y las 5S. Vamos a centrarnos en estas dos herramientas, aunque también se revisará el resto.

### 1.1. Diagrama del flujo de valor (VSM)

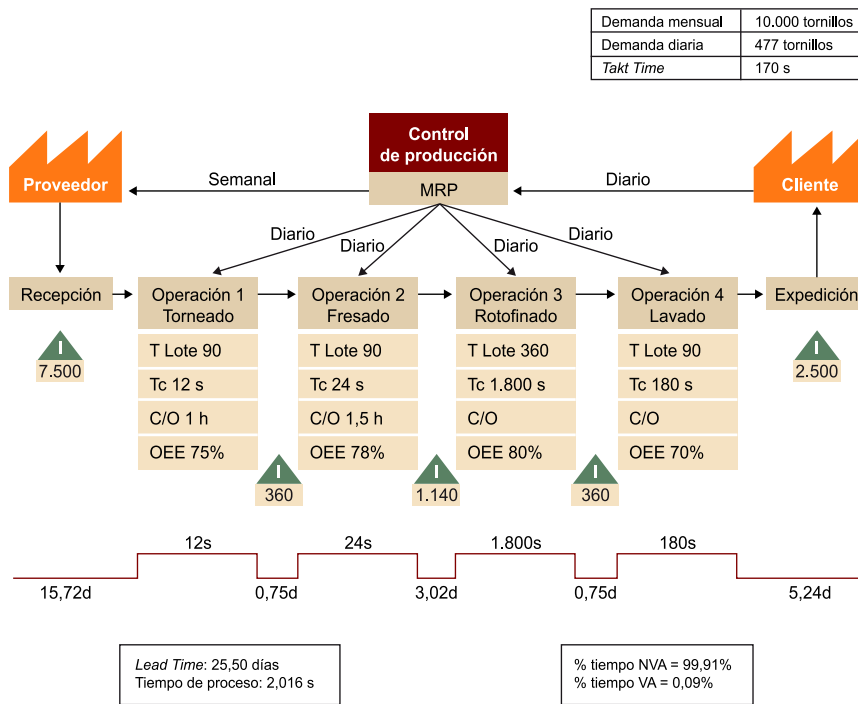
*Lean* se basa en la premisa de que solamente aquellas tareas que agregan valor deben ser efectuadas.

El **mapa de flujo de valor** es una herramienta de *Lean* que le permite analizar la cadena de valor de un producto o compañía y discernir visualmente qué actividades agregan valor y cuáles no.

El mapa de flujo de valor muestra gráficamente no solamente las actividades de los procesos, sino también los flujos de materiales e información, la relación entre los proveedores y la cadena de valor, y los requisitos de los clientes. Otros elementos que pueden ser incluidos también en el mapa de flujo de valor son los tiempos de entrega, la disponibilidad del proceso, los métodos de programación de la producción, el consumo energético y el tiempo total de las actividades que agregan valor en comparación con el tiempo de entrega total.

El diagrama de flujo de valor sirve para conocer el punto actual y para definir cómo debería ser el diagrama futuro y facilitar la identificación de los pasos y acciones necesarias para llegar a él. En el diagrama se muestran los flujos de materiales, flujos de información y la escalera de *lead time* (línea donde se agregan todos los tiempos que acaban determinando el *lead time* global del proceso).

**Fabricación de tornillos para prótesis dentales**



La imagen muestra un ejemplo de un diagrama de flujo de valor aplicado a una empresa de fabricación de tornillos para implantes dentales.

|                           |                |                                       |                  |
|---------------------------|----------------|---------------------------------------|------------------|
| <b>Takt Time</b>          | 170,1 segundos | <b>Tiempo total sin valor añadido</b> | 25,48 días       |
| <b>Lead time</b>          | 25,50 días     | <b>Tiempo total de valor añadido</b>  | 2.016 segundos   |
| <b>Días trabajo / mes</b> | 21 días        | <b>% Valor añadido / lead time</b>    | 0,09             |
| <b>Demanda diaria</b>     | 477 tornillos  | <b>Demanda mensual</b>                | 10.000 tornillos |

La tabla muestra un resumen de los procesos de la cadena de valor y se muestra el *takt time* como una métrica de desempeño.

Como se indicó anteriormente, *takt time* muestra la velocidad a la cual el sistema debe producir los productos.

En el ejemplo de la empresa de fabricación de tornillos para implantes dentales, el *takt time* es 170,1 segundos por tornillo. Dado que la demanda global de los clientes son 10.000 tornillos al mes, la fórmula:

$$Takt\ time = \frac{\text{Tiempo de operación disponible}}{\text{Producción requerida por la demanda de cliente}}$$

aplicada a este ejemplo específico, da como resultado:

$$Takt\ time = \frac{3 \frac{\text{turnos}}{\text{día}} \times 7,5 \frac{\text{horas}}{\text{turno}} \times 5 \frac{\text{días}}{\text{semana}} \times \frac{4,2 \text{ semana}}{\text{mes}} \times 3.600 \text{ s/hora}}{10.000 \text{ productos/mes}} = 170,1 \text{ s/tornillo}$$

A continuación nos enfocamos en la explicación e interpretación de algunas métricas del diagrama. En la parte inferior del diagrama se muestran dos líneas de tiempo. La línea superior indica el tiempo correspondiente a actividades que no agregan valor (NVA), mientras que la línea inferior muestra el tiempo de las actividades que generan valor (VA). La suma de NVA es de 25,48 días, mientras que la suma de VA es de 2,016 segundos. Así pues, VA representa únicamente un 0,09% del *lead time* (25,50 días). Por lo tanto, más del 99,9% del tiempo total es desperdiciado en forma de muda (como stocks de materia prima, semielaborado o producto terminado, transportes innecesarios, esperas, etc.).

Los diagramas de flujo de valor se trazan primero para el estado actual del proceso o sistema. Entonces, basados en el estado actual, se diseña el diagrama para el estado ideal. El diagrama de flujo de valor para un estado ideal muestra la mejor manera posible de satisfacer las necesidades del cliente. Puede que no todos los procesos, tecnologías o conocimiento existan para poder implementar el estado ideal en un momento dado. Sin embargo, el estado ideal permite desarrollar una visión de largo plazo que la organización puede aspirar a llevar a cabo.

Para empezar a realizar mejoras incrementales, se diseña un diagrama de flujo de valor para un estado futuro, incorporando las partes actualmente factibles del estado ideal. Este diagrama incluye todos los cambios requeridos para aumentar el porcentaje de valor añadido con respecto al tiempo total del proceso. Los desperdicios e inventarios son eliminados, o por lo menos minimizados hasta donde sea factible.

Mientras algunas actividades añaden valor al producto (operación 1, operación 2, operación 3, operación 4), otras actividades no agregan valor pero son requeridas para que el sistema pueda funcionar (por ejemplo, recepción de materia prima o expedición de producto terminado), de manera que deben ser preservadas, mientras que aquellas actividades que no agregan valor y son innecesarias deben ser eliminadas (stocks intermedios antes de las operaciones de fabricación).

### 1.1.1. Construcción del diagrama de flujo de valor (VSM)

El VSM es el diagrama que muestra la forma como los procesos son efectuados actualmente. El VSM es vital para entender los cambios y las oportunidades de mejora. A pesar de que pueden parecer complejos, su elaboración es bastante sencilla.

El ejemplo siguiente explica paso a paso cómo construir un diagrama de flujo de valor para una empresa de producción de tornillos para prótesis dentales.

**Nota**

Con el fin de simplificar el proceso, se muestran solamente un cliente y un tipo de producto en el diagrama de la cadena de valor.

**1) Paso 1**

**a) Identificar el cliente, los proveedores y los controles en sus respectivos iconos.** En este caso, hay solo un cliente y un proveedor. Y nuestro sistema de control de producción dispone de un MRP.



**b) Anotar la demanda del cliente y calcular los requisitos de producción y envíos diarios.** Para este caso, la demanda mensual es de 10.000 unidades. La compañía trabaja 21 días al mes, de manera que la demanda diaria se calcula de la forma siguiente:

$$\text{Demanda diaria} = \frac{10.000 \text{ unidades/mes}}{21 \text{ días/mes}} = 477 \text{ unidades/día}$$

La compañía trabaja tres turnos al día, de ocho horas cada uno con media hora para descansos. Ya conocemos, por tanto, el tiempo disponible por día.

El *takt time* se calcula de la forma siguiente:

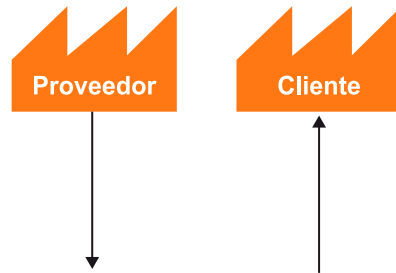
$$\text{Takt time} = \frac{3 \text{ turnos/día} \times 7,5 \text{ horas/turno} \times 3.600 \text{ s/hora}}{477 \text{ productos/día}} = 170 \text{ s}$$

|                        |                  |
|------------------------|------------------|
| <b>Demanda mensual</b> | 10.000 tornillos |
| <b>Demanda diaria</b>  | 477 tornillos    |
| <b>Takt Time</b>       | 170 s            |

**2) Paso 2**

**a) Indicar el método y la frecuencia de envío al cliente.** En este caso, el método de envío de los materiales al cliente es el camión y la frecuencia, semanal.

**b) Indicar el método y la frecuencia de envío del proveedor.** En este caso el método de envío de los materiales del proveedor es el camión y la frecuencia, semanal.



### 3) Paso 3

a) **Añadir las operaciones.** En este caso hay cuatro operaciones: operación 1 (torneado), operación 2 (fresado), operación 3 (rotofinado), operación 4 (lavado).

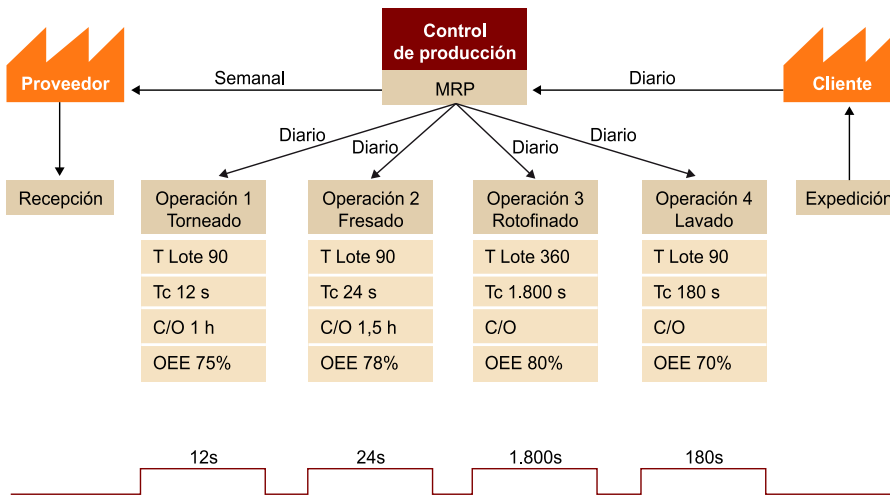
b) **Añadir la información de las distintas fases u operaciones en las cajas y las líneas de tiempo de valor añadido (VA) y no valor añadido (NVA).** El tiempo de VA es indicado en los picos de la línea (en segundos), mientras que los tiempos de NVA se especifican en los valles (en días).

### 4) Paso 4

a) **Añadir los métodos de comunicación con el cliente, el proveedor y su frecuencia.** Una línea quebrada indica que la comunicación con los proveedores y clientes se efectúa de manera electrónica (por ejemplo, vía conexión EDI). La comunicación interna entre el control de producción y las operaciones (operación 1, 2, 3, 4) se realiza por medio de un documento físico y se representa a través de una línea continua.

b) **Anotar la información respectiva en las cajas de los procesos.** El tiempo de ciclo ( $T_c$ ) se expresa en segundos y los tiempos de cambio ( $C/O$ ), en horas. Otro dato que puede ser importante es el tamaño de lote y el OOE. A continuación se facilitan los datos del ejemplo.

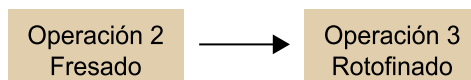
|                 |                  |
|-----------------|------------------|
| Demanda mensual | 10.000 tornillos |
| Demanda diaria  | 477 tornillos    |
| Takt Time       | 170 s            |



5) Paso 5

a) Incluir los puntos de stock con sus respectivos niveles para cada operación. A continuación se muestran los niveles de stock en cada punto (materia prima, semielaborados y producto terminado).

b) Agregar los símbolos de pull o push. En este caso, el sistema trabaja bajo un sistema push (basado en un programa de producción a partir de un pronóstico de demanda). La línea punteada muestra el flujo del material a partir del punto de inventario de materias primas hasta el punto donde se encuentra el producto terminado.



6) Paso 6. Cálculo de indicadores

a) Indicar o calcular los tiempos de sin valor añadido (NVA). En este ejemplo, corresponden a los puntos de inventario (materias primas, semielaborados y producto terminado). Dado que los inventarios se encuentran expresados en unidades, necesitan ser convertidos a unidades de tiempo (en este caso días).

Por lo tanto, la demanda diaria es utilizada para este cálculo.

$$\text{Stock de materias primas} = \frac{7.500 \text{ unidades}}{477 \text{ unidades/día}} = 15,72 \text{ días}$$

$$\text{Stock de producto terminado} = \frac{2.500 \text{ unidades}}{477 \text{ unidades/día}} = 5,24 \text{ días}$$

$$\text{Stock de semielaborado Op1} = \frac{360 \text{ unidades}}{477 \text{ unidades/día}} = 0,75 \text{ días}$$

$$\text{Stock de semielaborado Op2} = \frac{1.440 \text{ unidades}}{477 \text{ unidades/día}} = 3,02 \text{ días}$$

$$\text{Stock de semielaborado Op3} = \frac{360 \text{ unidades}}{477 \text{ unidades/día}} = 0,75 \text{ días}$$

**b) Indicar o calcular los tiempos de valor agregado (VA).** En este ejemplo, los tiempos VA son los tiempos de proceso de cada una de las cuatro operaciones (torneado, fresado, rotofinado, lavado). Estos están expresados en segundos.

**c) Indicar el tiempo de cambio y calcular el tiempo disponible.**

$$\text{Tiempo disponible} = 3 \text{ turnos} \times \left( 8 \frac{\text{horas}}{\text{turno}} - 0,5 \frac{\text{hora descanso}}{\text{turno}} \right) \times 60 \frac{\text{minutos}}{\text{hora}} = 1.350 \text{ minutos/días}$$

**d) Calcular el tiempo de entrega total y el tiempo de procesamiento (VA).**

$$\text{Lead time} = 15,72 \text{ d} + 0,75 \text{ d} + 3,02 \text{ d} + 0,75 \text{ d} + 5,24 \text{ d} + 0,02 \text{ d} = 25,50 \text{ días}$$

$$\text{Tiempo de valor añadido} = 12 \text{ s} + 24 \text{ s} + 1.800 \text{ s} + 180 \text{ s} = 2.016 \text{ segundos}$$

**e) Estimar el tiempo de no valor añadido (NVA) y valor añadido (VA) como porcentaje del *lead time*.** Los cálculos son realizados utilizando “día” como unidad de tiempo, de manera que hay que convertir el tiempo de proceso o VA a días.

$$VA = \frac{2.016 \text{ s}}{24 \times 3.600 \text{ s/día}} = 0,02 \text{ días}$$

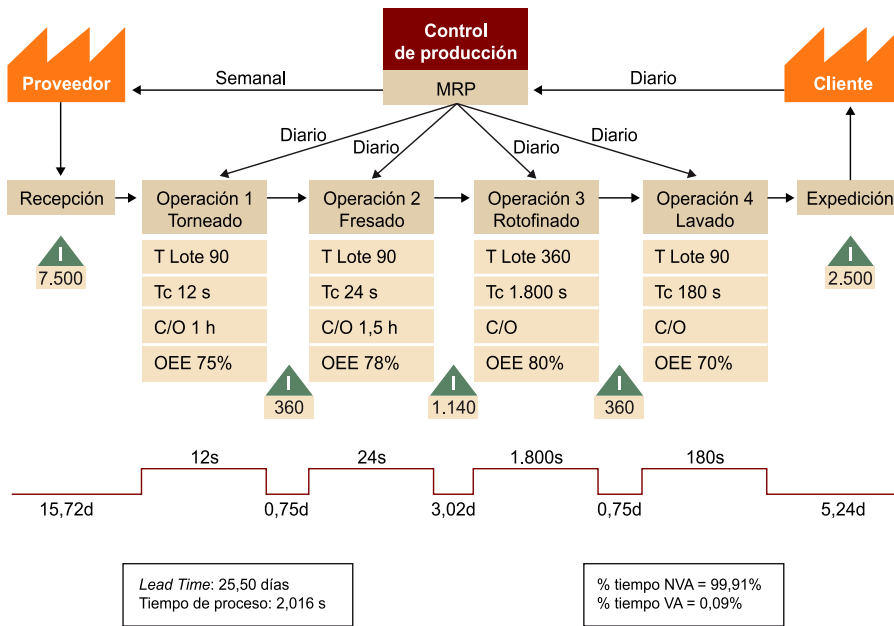
$$NVA = \text{Lead time} - VA$$

$$NVA = 25,50 \text{ días} - 0,02 \text{ días} = 25,48 \text{ días}$$

$$\%VA = \frac{0,023 \text{ días}}{25,50 \text{ días}} \times 100 = 0,09\%$$

$$\% NVA = 99,91\%$$

|                 |                  |
|-----------------|------------------|
| Demanda mensual | 10.000 tornillos |
| Demanda diaria  | 477 tornillos    |
| Takt Time       | 170 s            |



### 1.2. 5S

Las acciones de 5S son consideradas el punto de inicio de la gestión *Lean*.

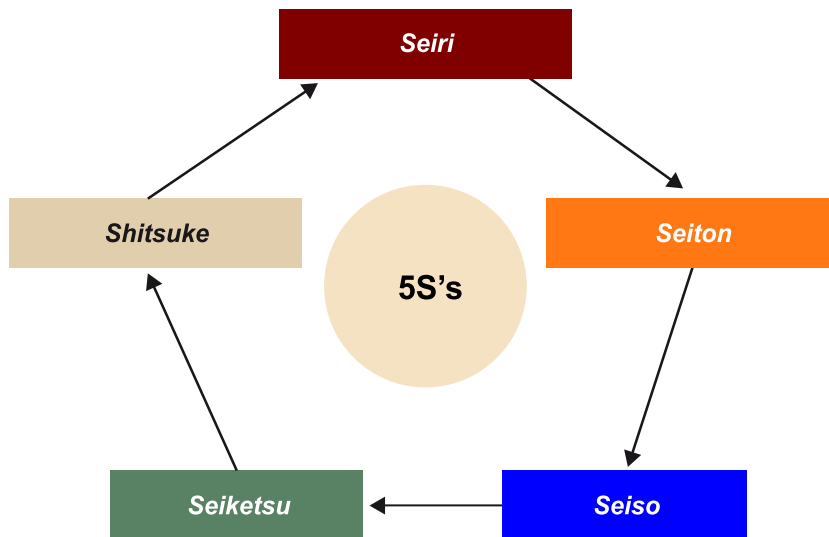
El concepto de origen japonés de las 5S se refiere a la creación de áreas de trabajo más limpias, seguras y visualmente más organizadas.

Tiene un alcance muy efectivo para motivar a la gente y mejorar el ambiente de trabajo.

Cuenta con cinco principios simples asignados a cada una de sus cinco etapas, que provienen de los términos japoneses:

- *Seiri* (clasificación),
- *Seiton* (organizar),
- *Seiso* (limpiar),
- *Seiketsu* (estandarizar) y
- *Shitsuke* (mantener).



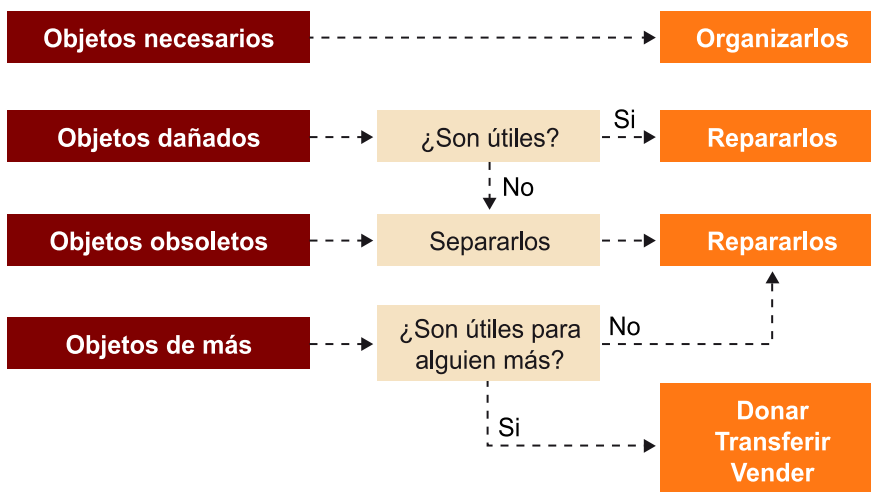


A continuación se describen más detalladamente cada una de estas actividades:

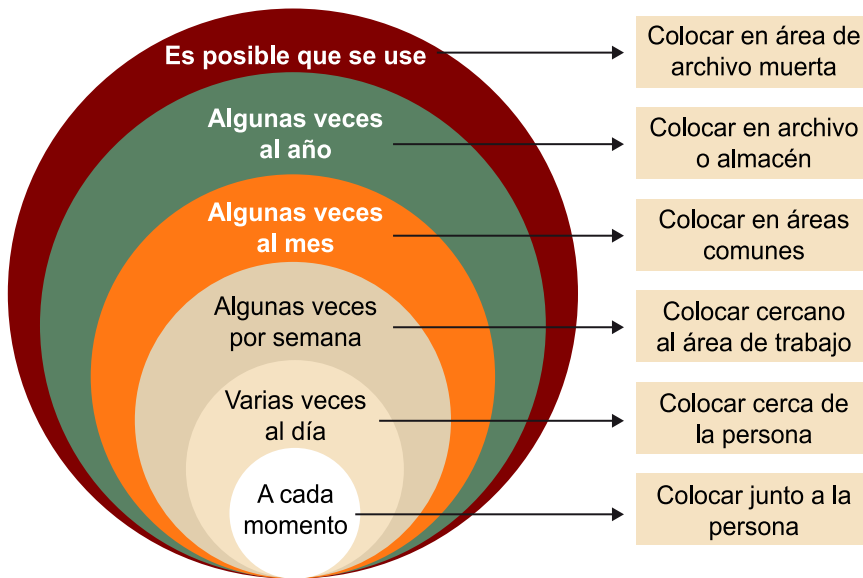
### 1) Clasificar (*Seiri*)

Clasificar ítems y objetos en necesarios e innecesarios. También busca clasificar objetos de acuerdo con su frecuencia de utilización y dimensiones. Una vez que los objetos han sido clasificados, aquellos que son innecesarios deben ser removidos del área de trabajo y los restantes posicionados de acuerdo con la frecuencia de uso y su tamaño.

Clasificar los elementos de acuerdo con su uso, tal como muestra el gráfico siguiente:



Una vez seleccionados los objetos necesarios, se pueden ubicar por frecuencia de uso, tal como muestra el gráfico siguiente:



Se debe realizar una selección de objetos, eliminando todo aquello que no se use; se puede crear una zona para guardar temporalmente los objetos que hemos quitado de la zona colocando un *Red Label*, almacén provisional hasta tomar una decisión definitiva.

## 2) Organizar (*Seiton*)

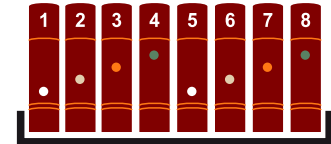
Esta actividad busca identificar y poner en orden todos aquellos objetos de manera que se puedan alcanzar fácilmente cuando se necesiten.

Se deben ordenar las ubicaciones de modo que la presencia de los elementos sea visualmente identificable y obvia para cualquier persona:

**5S RED LABEL**

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <b>5S Red Label</b>             |  |
| Description: _____              |  |
| Original location: _____        |  |
| Labelled by: _____              | Date: _____                                |
| ACTION                          |  |
| <input type="checkbox"/> Remove | <input type="checkbox"/> Improved location |
| Owner: _____                    | Date: _____                                |
| Follow up: _____                | By: _____                                  |
| Remarks: _____                  |  |

Ejemplo de marcado de los elementos y las ubicaciones



Los elementos de oficina se deben marcar y, en lo posible, ordenar verticalmente

### 3) Limpiar (*Seiso*)

La tercera fase trata de la limpieza en la empresa, fase de la que deben ocuparse todos los elementos de la empresa. Cada persona debe tener asignada una zona del lugar de trabajo, de la que se encargará de mantener su limpieza bajo su responsabilidad. Todas las áreas del lugar de trabajo son asignadas a alguna persona. La limpieza ofrece seguridad y calidad en la empresa.

Las ventajas de esta fase se centran en una mejor imagen interna y externa de la empresa, mayor facilidad en las ventas, mayor productividad y menores daños de productos y materiales, menos pérdidas. Además, se favorece un buen clima laboral, ya que la limpieza da una mejor sensación dentro de la empresa.

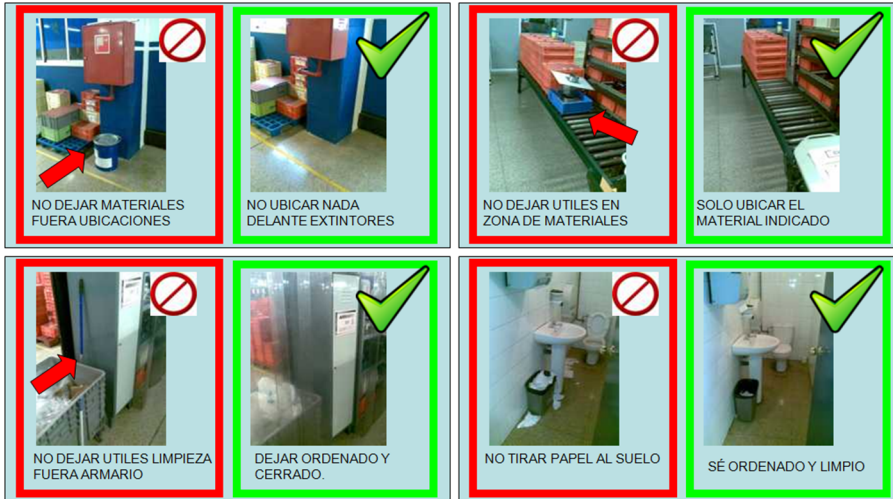
### 4) Estandarizar (*Seiketsu*)

Auditorías, evaluaciones y actividades de entrenamiento son importantes para incorporar procesos estandarizados en la rutina de trabajo de los empleados.

- Se debe definir quién es el responsable de las 5S, si hay sectores diversos uno para cada uno. Establecer lo que es una anomalía y elaborar un apoyo visual para evitarla.
- Deben integrarse las actividades 5S en las actividades normales de trabajo.

- Establecer un plan de auditoría, distribuir las acciones correctivas. Las no conformidades se tratan con fotos comparativas de los elementos identificados antes y después de la no conformidad. Es útil disponer de un histórico fotográfico con los cambios que se han realizado.

Ejemplos de no conformidades



| Nr   | ZONA    | NO CONFORMIDAD                        | ACCION                                   | REALIZADO POR: | FECHA ACCION TERMINADA |
|------|---------|---------------------------------------|--|----------------|------------------------|
| 2013 |         |                                       |  |                |                        |
| 10   | ALMACEN | SUELO ALMACEN RECEPCION EN MAL ESTADO | PINTADO SUELO ALMACEN / ORDEN MATERIALES | LOGISTICA      | 15/04/2013             |
|      |         |                                       |  |                |                        |

Deben definirse los estándares para cada zona de la empresa (la recepción, los quirófanos y las habitaciones de un hospital no tendrán el mismo estándar) y plasmarlo en un elemento visual.

Estos estándares pueden incorporar: tipo de materiales permitidos/prohibidos (madera, cartón, plástico, etc.), acondicionamiento de los materiales (protección de los materiales), identificación de las zonas por colores de almacenamiento (rechazo, producto acabado, materia prima, wip, etc.), identificación de las rutas de tránsito con colores (líneas de dirección en grandes equipamientos), limitar las alturas de almacenamiento, etc.

### 5) Mantener (*Shitsuke*)

La última fase de las 5S, tras haber completados las otras, consiste en la disciplina y el compromiso.

La **disciplina** es la voluntad de hacer las cosas como se deben hacer, tener buenos hábitos; el **compromiso** se basa en la mejora continua.

Busca sobre todo crear hábitos a partir de los puntos anteriores. En esta fase se deben evaluar los resultados de aplicación del método y comprobar la adherencia al plan y a los estándares definidos, realizando las revisiones necesarias del plan y los propios estándares. Es la mejora continua del sistema.

### 1.3. Seis Sigma ( $6\sigma$ )

En la década de los ochenta, Philip Crosby popularizó el concepto de *cero defecto* como orientación para el control de la calidad. Este enfoque establece la meta de resultados que carezcan de errores al cien por cien. Crosby sostiene que si se establece un nivel aceptable de defectos, ello tiende a provocar que dicho nivel (o uno más alto) se conviertan en una profecía que se cumple; si los empleados saben que está “bien” trabajar dentro de un nivel determinado de errores, llegarán a considerar que ese nivel es la “norma”. Es evidente que dicha “norma” está por debajo de lo óptimo.

La idea de un **porcentaje de error aceptable** (a veces denominado *nivel de calidad aceptable*) es un curioso remanente de la era del control de calidad.

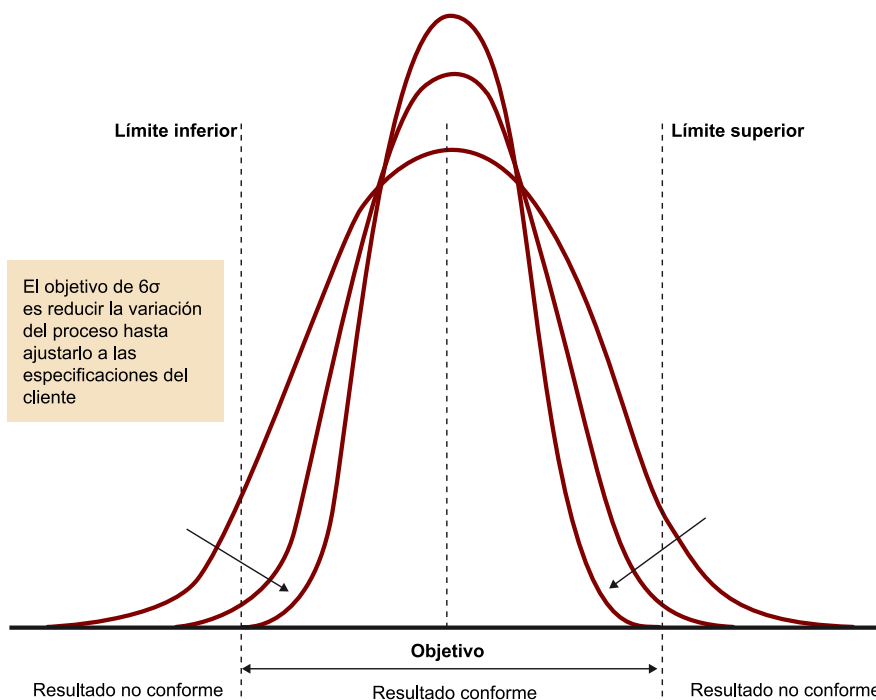
En aquellos tiempos se podían encontrar maneras de justificar estadísticamente los naturales fallos humanos, sosteniendo que nadie podía ser posiblemente perfecto. De modo que si el 100% es inalcanzable, ¿por qué no conformarse con el 99%, e incluso con el 95%? Entonces, si alcanzáramos el 96,642%, podríamos haber superado el objetivo pero de 100.000 productos o servicios efectuados, 3.358 hubieran sido desfavorables. Los clientes insatisfechos, los que estaban fuera del porcentaje establecido de productos o servicios perfectos, no regresarían jamás. Si el producto o servicio puede afectar a la vida de las personas, parece claro que no sería aceptable una defectuosidad de este nivel.

**Sigma** es un parámetro estadístico de dispersión que expresa la variabilidad de un conjunto de valores respecto a su valor medio, de modo que cuanto menor sea sigma, menor será el número de defectos.

Sigma cuantifica la dispersión de esos valores respecto el valor medio y, por tanto, fijados unos límites de especificación del cliente, superior e inferior, respecto al valor central objetivo, cuanto menor sea sigma, menor será el número de defectos.

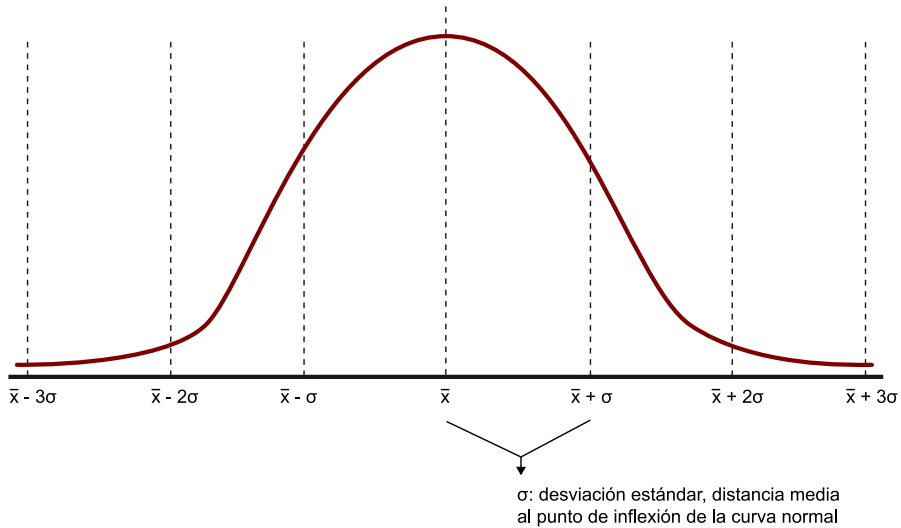
De este modo, en la escala de calidad de 6 Sigma se mide el número de sigmas que caben dentro del intervalo definido por los límites de la especificación, de modo que cuanto mayor sea el número de sigmas que caben dentro de los límites de especificación, menor será el valor de sigma y, por tanto, menor el número de defectos.

La diferencia entre la tolerancia superior y la tolerancia inferior dividida por la desviación estándar nos da la cantidad de sigmas. La capacidad del proceso para un nivel 6 Sigma es igual a 2, resultante de dividir la diferencia entre tolerancia superior e inferior por 6 Sigma. En un nivel 6 Sigma entran en el espacio existente entre las tolerancias superior e inferior un total de 12 sigmas.



Siempre que el producto esté dentro del intervalo entre las dos tolerancias superior e inferior, diremos que el producto o servicio es conforme. En este caso, se siguen las ideas de Cosby, quien consideraba la calidad como sinónimo de cumplimiento de las especificaciones.

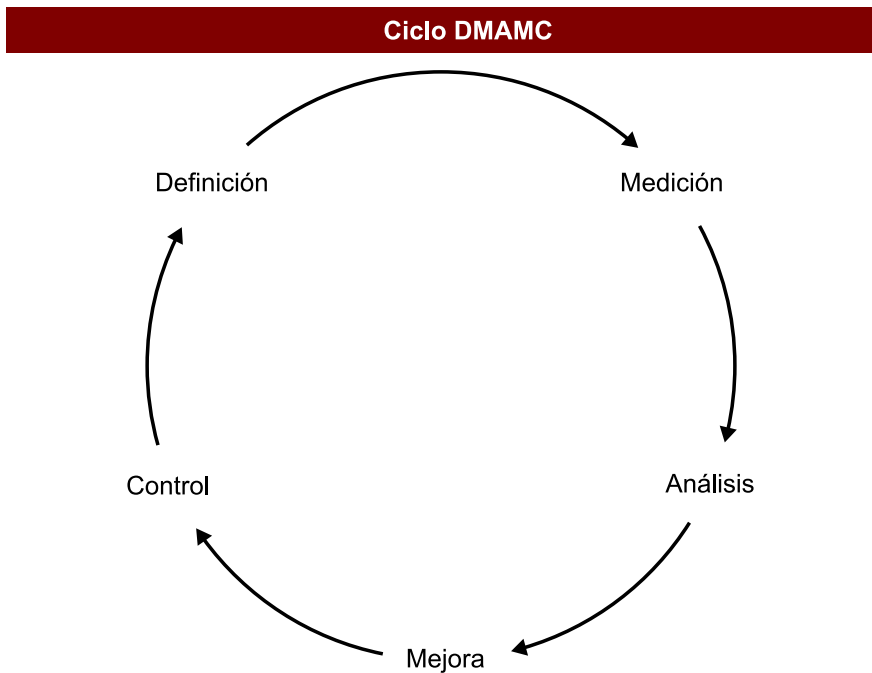
Así pues, cuanto más cercano estén los valores de las mediciones al valor central óptimo, más pequeño será el valor de sigma, y de esta manera mayor número de sigmas entrarán dentro de los límites de la tolerancia.



Un proceso 6 Sigma tiene un rendimiento del 99,9997%. Por tanto, 6 Sigma es una métrica que mide el desempeño de un proceso en cuanto a su nivel de productos o servicios fuera de especificación; su meta es tener procesos World-Class, de modo que no se produzcan más de 3,4 defectos por millón de operaciones.

Para realizar la mejora que requiere el 6 Sigma se utiliza la rueda DMAMC, que se compone de los siguientes pasos:

- 1) Definir
- 2) Medir
- 3) Analizar
- 4) Mejorar
- 5) Controlar



#### 1.4. Mantenimiento total productivo (TPM)

Un equipo o proceso debe estar disponible cuando sea requerido por el programa de producción y debe funcionar por el tiempo que sea necesario para completar la orden. En otras palabras, el proceso o equipo debe ser confiable.

TPM busca asegurar la confiabilidad de los equipos o procesos por medio de un programa de mantenimiento riguroso, a cargo de los operarios, técnicos de mantenimiento y especialistas externos a la empresa si fuese necesario.

Fundamentalmente, TPM se enfoca en mantener los equipos en condiciones óptimas a fin de prevenir su deterioro. Esto involucra varios pasos básicos, tales como:

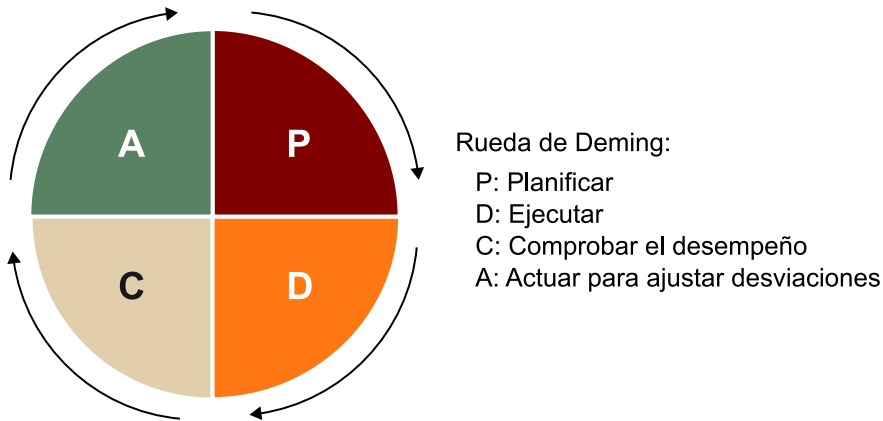
- limpieza (para mantener las condiciones básicas de equipos),
- lubricación,
- ajustes,
- inspecciones regulares,
- controles visuales y
- el cumplimiento de las reglas para mantener un programa TPM.

En realidad, TPM no solamente se enfoca a la disponibilidad de las máquinas, sino también a la productividad y los problemas de eficiencia que se puedan presentar. En el largo plazo, una buena implementación de TPM puede ayudar a prevenir accidentes y lograr cero defectos de producción.



### 1.5. Mejora continua. PDCA. (Kaizen)

El ciclo de Deming, rueda de Deming o ciclo PDCA es una herramienta utilizada para la mejora.



### 1.6. Cambio rápido de referencia (SMED)

**Cambio rápido** es el tiempo de cambio (tiempo que tarda ajustar un sistema o equipo para pasar de un estado a otro) de un equipo o un proceso que tiene una gran influencia en los tamaños de lote. A menor tiempo de cambio, menor es el tamaño de lote que se puede correr económicamente, mayor la flexibilidad y menor el inventario de producto en proceso. El concepto de *cambio rápido* se conoce también como cambio de herramienta en un solo dígito de minutos<sup>1</sup>.

<sup>(1)</sup>En inglés, *single-minute exchange of dies* o SMED.

Cualquier actividad de ajuste o cambio en una máquina puede ser clasificada en dos tipos:

- **Actividades internas:** este tipo de cambios pueden realizarse solamente cuando la máquina o el equipo se encuentran completamente detenidos, es decir, no es posible continuar con el procesamiento de producto. En un aserradero, por ejemplo, el reemplazo de las cabezas de corte de una moldeadora.
- **Actividades externas:** corresponden a aquellos ajustes que pueden ser efectuados cuando la máquina se encuentra en uso (es posible procesar producto). En el ejemplo del aserradero, una actividad externa puede ser la preparación de otras cabezas de corte con cuchillas nuevas.

El concepto de cambio rápido depende de reconocer qué actividades pueden ser realizadas en un equipo o proceso en marcha (actividades externas) y ejecutarlas antes de que el equipo o proceso sea detenido. Todas las actividades externas deben ser conducidas de tal forma que el tiempo de paro del equipo

sea mínimo (actividad interna). Por ejemplo, las cuchillas del ejemplo de la moldeadora pueden ser insertadas en las cabezas de corte de manera que no se requieran ajustes cuando el cambio de cabezas ocurre.

Los pasos que se deben seguir para realizar el análisis SMED son los siguientes:

### 1) Diferenciar tipos de ajustes:

- **Ajustes internos.** Requieren máquina parada (IED).
- **Ajustes externos.** Pueden realizarse con máquina en marcha (OED).

### 2) Método

- Identificar los ajustes que hay que realizar (evaluar si son internos o externos).
- Separar los internos de los externos.
- Transformar ajustes internos en externos.
- Racionalizar todos los aspectos de la operación de ajuste.

### 3) Operaciones que contemplar

- a) Preparación de la máquina, puesto de trabajo, útiles.
- b) Verificación de los materiales e instrumentos de medida requeridos.
- c) Desmontaje/montaje de los útiles de cambio de referencia.
- d) Ajustes de las condiciones de fabricación.
- e) Fabricación de las primeras piezas.
- f) Limpieza.
- g) Orden del puesto de trabajo.

El método es iterativo y se debe revisar ante cualquier cambio en el proceso, nueva referencia, etc.

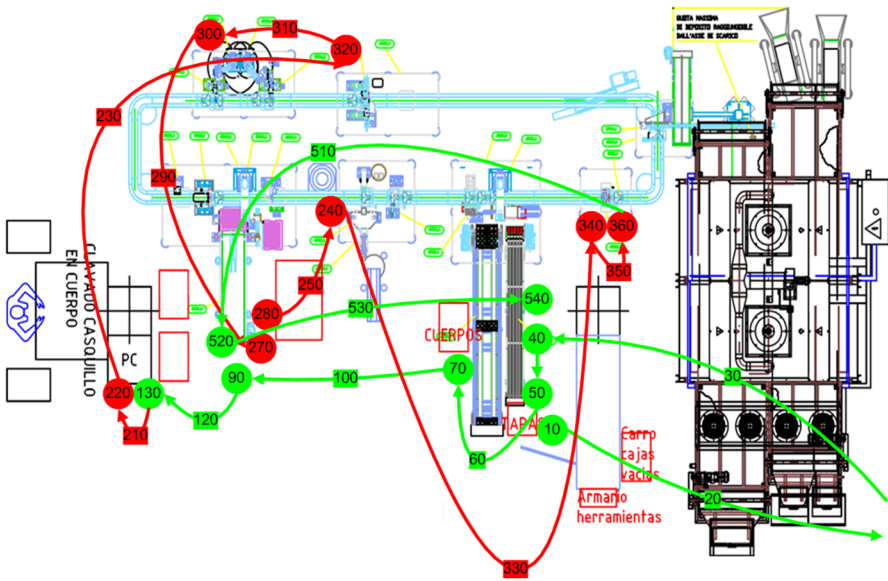
Ejemplo de tabla de revisión de actividades externas e internas

| Nº OPERACIÓN | CATEGORÍA OPERACIÓN | DESCRIPCIÓN OPERACIÓN   | T.Operación(min:seg) | Distancia (m) | herramienta | termino clave |
|--------------|---------------------|---|----------------------|---------------|-------------|---------------|
| 10           | Externo             | Se retiran tapas código anterior                                | 0:15                 | 0,00          |             | ←             |
| 20           | Externo             | Se transportan tapas anteriores a estantería fifo               | 0:06                 | 20,50         |             | →             |
| 30           | Externo             | Se transportan tapas código nuevo a línea de montaje            | 0:03                 | 10,00         |             | →             |
| 40           | Externo             | Se retira metracrilato  | 0:01                 | 0,00          |             | ←             |
| 50           | Externo             | Se cargan tapas en cinta  | 1:19                 | 0,00          |             | →             |
| 60           | Externo             | Transporte a cinta de cuerpos                                   | 0:00                 | 2,00          |             | →             |
| 70           | Externo             | Se cargan cuerpos en cinta                                      | 0:23                 | 0,00          |             | →             |
| 80           | Externo             | Transporte a cinta de bobinas                                   | 0:01                 | 6,50          |             | →             |
| 90           | Externo             | Se retiran blisters vacíos a contenedor bobinas código antiguos | 0:04                 | 0,00          |             | ←             |
| 100          | Externo             | Transporte a cinta de cuerpos                                   | 0:01                 | 6,50          |             | →             |
| 110          | Externo             | Se carga cuerpos en cinta                                       | 1:50                 | 0,00          |             | →             |
| 120          | Externo             | Transporte a PC   | 0:01                 | 5,10          |             | →             |
| 130          | Externo             | Preparar documentación nuevo código                             | 0:03                 | 0,00          |             | ←             |
| 200          | Interno             | Inicio producción última pieza código antiguo                   | 0:01                 | 0,00          |             | →             |
| 210          | Interno             | Transporte a PC   | 0:00                 | 1,00          |             | →             |
| 220          | Interno             | Cambio código PC  | 0:25                 | 0,00          |             | →             |
| 230          | Interno             | Transporte a manipuladorE2                                      | 0:00                 | 3,00          |             | →             |
| 240          | Interno             | Cambio pinzas E2  | 2:09                 | 0,00          | Llave allen | →             |
| 260          | Interno             | Transporte a bobinas  | 0:00                 | 3,00          |             | →             |
| 250          | Interno             | Final producción última pieza código antiguo                    | 0:01                 | 0,00          |             | →             |
| 270          | Interno             | Vaciado bobinas código anterior en máquina                      | 0:14                 | 0,00          |             | ←             |
| 280          | Interno             | Se insertan blisters con bobinas código nuevo en cinta          | 0:23                 | 0,00          |             | →             |
| 290          | Interno             | Transporte a manipuladorE5                                      | 0:02                 | 9,30          |             | →             |
| 300          | Interno             | Cambio pinzas E5  | 3:29                 | 0,00          | Llave allen | →             |
| 310          | Interno             | Transporte a manipulador E6                                     | 0:00                 | 1,80          |             | →             |
| 320          | Interno             | Cambio pinzas E6  | 1:03                 | 0,00          | Llave allen | →             |
| 330          | Interno             | Transporte a contenedor piezas KO                               | 0:20                 | 24,50         |             | →             |
| 340          | Interno             | Vaciado KO código antiguo                                       | 0:13                 | 0,00          |             | ←             |
| 350          | Interno             | Transporte a zona de plantillas                                 | 0:00                 | 1,00          |             | →             |
| 360          | Interno             | Cambio plantillas   | 0:20                 | 0,00          |             | →             |
| 500          | Externo             | Inicio producción código nuevo                                  | 0:01                 | 0,00          |             | →             |
| 510          | Externo             | Transporte a cinta de bobinas                                   | 0:02                 | 7,00          |             | →             |
| 520          | Externo             | Se retiran blisters vacíos a contenedor bobinas código antiguos | 0:14                 | 0,00          |             | ←             |
| 530          | Externo             | Transporte a cinta de tapas                                     | 0:01                 | 6,50          |             | →             |
| 540          | Externo             | Se incorpora metracrilato                                       | 0:12                 | 0,00          |             | ←             |

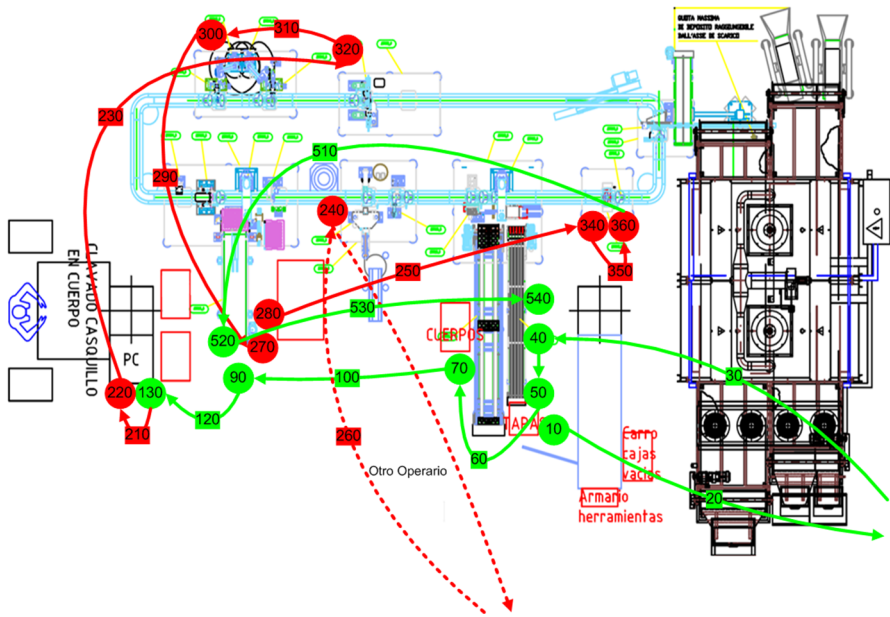
  

| Resumen        | T.Operación (min:seg) | Distancia(m) |
|----------------|-----------------------|--------------|
| Tiempo externo | 4:41                  | 64,10        |
| Tiempo interno | 6:41                  | 43,60        |
| <b>TOTAL</b>   | <b>11:22</b>          | <b>107,7</b> |

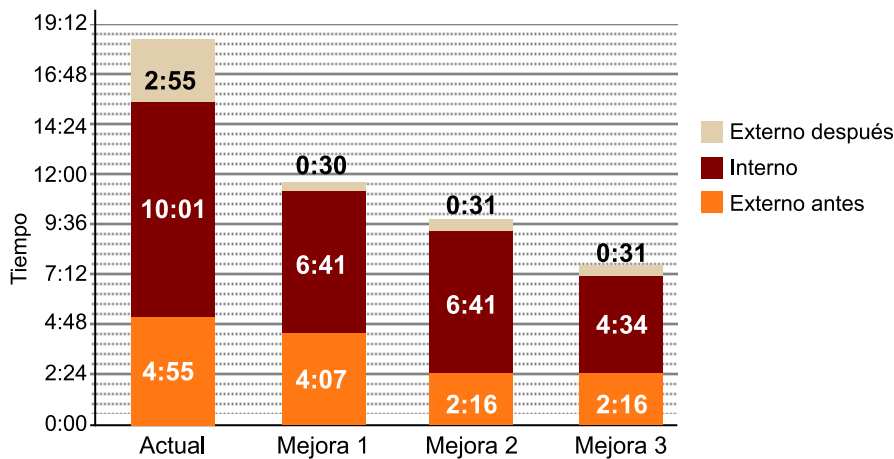
Ejemplo de un diagrama de espagueti de las operaciones de cambio de referencia en una línea de fabricación. Situación inicial



Ejemplo de un diagrama de espagueti de las operaciones de cambio de referencia en una línea de fabricación después de tres iteraciones de mejora



Ejemplo de reducciones y balanceo de las actividades internas y externas



Ejemplo de tabla resumen con las reducciones obtenidas en tiempo y recorrido con el uso de la herramienta SMED

| TABLA RESUMEN               |                  |                   |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                             | Actual (min:seg) | Distancia Act (m) | Mejora 1 (min:seg) | Distancia Mej1 (m) | Mejora 2 (min:seg) | Distancia Mej2 (m) | Mejora 3 (min:seg) | Distancia Mej3 (m) |
| Externo antes               | 4:55             | 37,50             | 4:07               | 50,60              | 2:16               | 37,00              | 2:16               | 37,00              |
| Interno                     | <b>10:01</b>     | 35,50             | <b>6:41</b>        | 43,60              | <b>6:41</b>        | 27,70              | <b>4:34</b>        | 31,70              |
| Externo después             | 2:55             | 0,00              | 0:30               | 13,50              | 0:31               | 13,50              | 0:31               | 13,50              |
| <b>TIEMPO TOTAL</b>         | <b>17:51</b>     | 73,00             | <b>11:18</b>       | 107,70             | <b>9:29</b>        | 78,20              | <b>7:21</b>        | 82,20              |
|                             |                  |                   |                    | (%)                |                    | (%)                |                    | (%)                |
| Externo antes               |                  |                   | Tiempos            | -16%               | Distancias         | 35%                | Tiempos            | -54%               |
| Interno                     |                  |                   | Tiempos            | <b>-33%</b>        | Distancias         | 23%                | Tiempos            | <b>-22%</b>        |
| Externo después             |                  |                   | Tiempos            | -83%               | Distancias         | 1350%              | Tiempos            | -3%                |
| <b>REDUCCIÓN TOTAL EN %</b> |                  |                   | <b>-37%</b>        | 48%                | <b>-47%</b>        | 7%                 | <b>-59%</b>        | 24%                |

## 1.7. *Poka Yoke*

*Poka Yoke* es un término japonés que significa a prueba de errores, aplicado a aquellos dispositivos o sistemas diseñados de tal forma que se elimina la posibilidad de cometer errores.

Ejemplos de dispositivos *Poka Yoke* incluyen los medidores pasa-no pasa, alarmas visuales y sonoras, interruptores de límite, contadores y listas de verificación. Uno de los dispositivos *Poka Yoke* más ampliamente utilizados puede ser encontrado en cualquier computadora de la salida de vídeo, la misma que no puede ser utilizada para un conector de audio y viceversa. Dependiendo del proceso del fabricante, uno o la combinación de varios dispositivos *Poka Yoke* pueden ser utilizados para prevenir errores.

## 1.8. AMFE

El AMFE<sup>2</sup> es una metodología analítica utilizada para asegurar que los potenciales problemas se han considerado y corregido durante el proceso de desarrollo de producto y proceso (APQP<sup>3</sup>).

<sup>(2)</sup> Acrónimo de *análisis de los modos de fallo y sus efectos*.

<sup>(3)</sup> Acrónimo de *planificación avanzada de la calidad del producto*.

Parte de la evaluación y el análisis es la evaluación de riesgos. El punto importante es que genera una discusión referente al diseño (producto o proceso) en la que requiere la revisión de todas las funciones ante cualquier cambio en el proceso/producto y el resultante riesgo potencial de fallo.

El AMFE debe asegurar que se tiene en consideración cada componente de un producto. Se debe dar prioridad a los componentes críticos o de seguridad.

Uno de los principales factores del éxito de la implementación de un programa de AMFE es la cronología. Para conseguir obtener el mayor valor de la herramienta, el AMFE debe hacerse antes de la implementación de un producto o proceso en el que existe el potencial modo de fallo. El tiempo dedicado a completar un AMFE cuando hay cambios en el producto o proceso también reducirá las posibles crisis debidas al cambio.

Los AMFE también se pueden aplicar a áreas no productivas. Por ejemplo, el AMFE puede utilizarse para analizar el riesgo en el proceso de administración o la evaluación de un sistema de seguridad. En general, el AMFE se aplica para potenciales fallos en el diseño de productos y procesos en los que los beneficios son claros y potencialmente significativos.

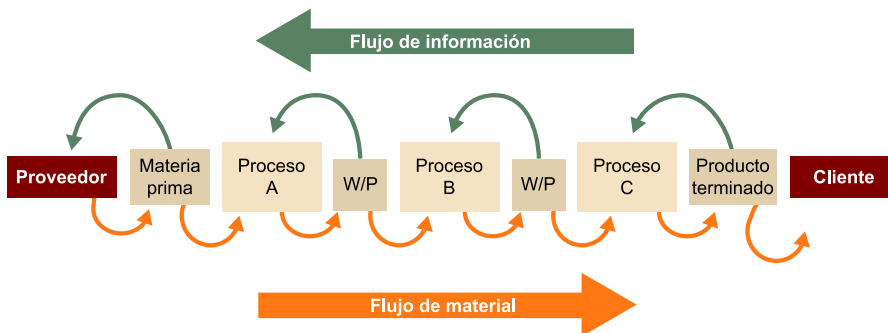
## 1.9. Kanban

Un **sistema de Kanban** consiste en una serie de señales e instrucciones para el reaprovisionamiento de componentes por parte de proveedores internos y externos.

Durante la elaboración de un producto, materias primas y suministros son consumidos, y al llegar a cierto nivel de inventario previamente determinado, una orden es generada para reponer lo consumido. La orden es generada utilizando una tarjeta Kanban, que típicamente incluye toda la información pertinente acerca del material que ha de ser reabastecido. Una vez liberada, la tarjeta Kanban es entregada al proveedor del material faltante y una cantidad predeterminada de este material es producida y suministrada para reponer el inventario. Los sistemas Kanban son simplemente sistemas visuales no complejos que se usan para reponer los materiales que se necesitan.

El uso de los sistemas visuales Kanban es una ayuda para tener un flujo de trabajo *pull* y ajustar los procesos a la demanda del cliente; esto facilita la capacidad al sistema para producir consistentemente a la misma velocidad todos los días con el objetivo de minimizar las fluctuaciones en la carga de trabajo. Esta estabilidad permite garantizar que el sistema va a producir resultados predecibles con poca variabilidad.

Esquema de los flujos de información y materiales en un sistema *pull*



El gráfico muestra los flujos de información y materiales en un sistema *pull*. Cuando un cliente retira un producto del almacén de producto terminado, se envía una señal (en forma de tarjeta Kanban) al proceso previo C. El proceso C sabe ahora que necesita producir otra unidad de producto terminado, justo como la que fue retirada por el cliente en el almacén. Cuando el proceso C repone la unidad faltante de producto terminado, utiliza materiales provenientes de la operación previa B. De tal forma que una tarjeta Kanban le indica al proceso B que debe proveer los componentes que se van a utilizar en el proceso C. De esta forma, un sistema *pull* que utiliza Kanban mantiene un cierto nivel de inventario a través de sus procesos y no produce materiales o productos innecesarios.