



## **2 Herramientas de análisis**

### **2.1 Introducción**

El paso previo en cualquier proceso de mejora de la Productividad es la selección de los indicadores adecuados, tanto para la descripción y estudio de la situación de partida como para el establecimiento de objetivos.

Un buen indicador será aquel que, adaptándose a las particularidades del medio productivo concreto (puede ser una máquina, un robot, elementos de transporte pero también una línea de fabricación completa, un taller o una factoría), sea lo suficientemente genérico para permitir la comparación directa entre ellos.

La misión principal de un sistema industrial de producción es producir una cantidad determinada de productos conformes (dentro de especificaciones) durante un tiempo determinado al menor coste total posible.



Con este objetivo, y considerando los factores que lo definen, (producción, tiempo, coste), se describirán a continuación los indicadores y herramientas que proporcionan la mejor representación posible de la Productividad a todos los actores implicados en su mejora y mantenimiento de entre todos los disponibles inicialmente.

## 2.2 Tiempos de Estado (tiempos de máquina)

Mediante la definición de los Tiempos de Estado, se podrán identificar objetivamente los periodos en los que una instalación (medio aislado, línea de fabricación...) se encuentra produciendo.

Los tiempos de estado deben ser medidos como el periodo comprendido entre dos instantes que puedan medirse directamente sobre el medio. Por ejemplo, en una máquina, se utilizan generalmente como puntos de inicio o fin de medición las activaciones o desactivaciones de determinadas señales eléctricas, o los avisos del interfaz hombre-máquina.

En la página 17 se representa el desglose de los tiempos de estado de un medio productivo mediante el Diagrama de Tiempos de Estado (RENAULT S.A. (2005): E41.50.505.R /E, NORMA INTERNA: *Tiempos de estado e indicadores de seguimiento de los resultados de los medios de producción*).

En él podemos distinguir los siguientes tiempos:

### 2.2.1 Tiempo total (Tt)

Es el tiempo de referencia que incluye todos los posibles estados de la instalación. Por ejemplo, para un día: 24 horas.



|                              |                                     |   |   |
|------------------------------|-------------------------------------|---|---|
| <b>TIEMPO TOTAL</b><br>$T_t$ | <b>TIEMPO REQUERIDO</b><br>$TR$     | <b>TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO</b><br>$TF$   | TIEMPO DE BUEN FUNCIONAMIENTO<br>$TBF$                  |
|                              |                                     |   | TIEMPO EN SOBREPASO DEL TIEMPO DE CICLO<br>$TDC$        |
|                              |                                     |   | TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO DEGRADADO<br>$TFD$             |
|                              |                                     | <b>TIEMPO DE PARADA PROPIA</b><br>$TAP$   | TIEMPO DE AVERÍA<br>$TP$                                |
|                              |                                     |   | TIEMPO DE PARADA DE EXPLOTACIÓN<br>$TAe$                |
|                              |                                     |   | TIEMPO DE PARADA FUNCIONAL<br>$TAF$                     |
|                              |                                     | <b>TIEMPO DE PARADA INDUCIDA</b><br>$TAI$ | TIEMPO DE PARADA INDUCIDA DE SATURACIÓN<br>$TAIs$       |
|                              |                                     |   | TIEMPO DE PARADA INDUCIDA POR FALTA DE PIEZAS<br>$TAIm$ |
|                              |                                     |   | TIEMPO DE PARADA POR OTRA CAUSA<br>$TAIa$               |
|                              | <b>TIEMPO NO REQUERIDO</b><br>$TNR$ | TIEMPO POTENCIAL DISPONIBLE<br>$Td$       |   |
| TIEMPO INDISPONIBLE<br>$Ti$  |                                     |   |   |

Figura 2.1. Desglose de los tiempos de estado.



### **2.2.2 Tiempo Requerido (TR)**

Tiempo durante el cual el usuario utiliza la instalación con la voluntad de producir. En este caso, el tiempo requerido es de 7,75 horas por turno, es decir, 23,25 horas al día.

### **2.2.3 Tiempo No Requerido (TNR)**

Complemento del tiempo requerido con respecto al tiempo total, es decir, tiempo durante el cual no está prevista la producción por parte de la instalación.

### **2.2.4 Tiempo Indisponible (Ti)**

Parte del tiempo no requerido durante el cual el operador no podría producir debido a operaciones que requieran la parada del medio (mantenimiento, limpieza...)

### **2.2.5 Tiempo Potencial Disponible (Td)**

Parte del tiempo no requerido durante el cual el operador podría utilizar su medio para producir. Es el complemento del tiempo indisponible respecto al tiempo no requerido.



### **2.2.6 Tiempo de Funcionamiento (TF)**

Es el tiempo durante el cual el medio produce piezas, ya sean conformes o no conformes, con la cadencia teórica o no y estando todas o parte de sus funciones en servicio correcto.

### **2.2.7 Tiempo de Buen Funcionamiento (TBF)**

Es el tiempo durante el cual la instalación produce piezas buenas con la cadencia teórica y con todas sus funciones en servicio.

### **2.2.8 Tiempo en Sobrepaso del Tiempo de Ciclo (TDTC)**

Exceso del *tiempo de ciclo* que ocasiona la producción a una cadencia menor, pero sin ocasionar la parada del medio productivo.

### **2.2.9 Tiempo de Funcionamiento Degradado (TFD)**

Tiempo durante el cual el medio produce con al menos una de sus funciones fuera de servicio, o bien produce piezas fuera de especificación.

Ejemplos de funciones cuya puesta fuera de servicio puede aceptarse: anulación de puestos duplicados de herramienta o cogida de pieza, mediciones internas en máquina, iluminación de habitáculos, etc. Nunca se permite el funcionamiento en degradado sobre funciones que afecten a la seguridad del personal y los medios o a la calidad del producto.



### **2.2.10 Tiempo de Parada Propia (TAP)**

Es el tiempo de parada cuya causa es interna a la instalación y achacable a esta, ya sea por su modo de funcionamiento, por fallo propio, del producto entrante o su manejo.

Generalmente se marca un umbral por debajo del cual los tiempos de parada se incluyen dentro del tiempo de funcionamiento. En ese caso reciben el nombre de *micro-paradas* y se limitan por su número (generalmente 10 micro paradas cada 10000 piezas para el tipo de medios productivos considerados en este proyecto).

### **2.2.11 Tiempo de Avería (TP)**

Tiempo de parada debido al mal funcionamiento de la instalación. La causa de esta parada puede deberse a una avería del medio o de sus útiles.

### **2.2.12 Tiempo de Parada de Explotación (TAe)**

Se debe a causas propias de la explotación pero no frecuentes, como por ejemplo, tiempos de parada por suciedad (incluye el tiempo de limpieza), por aparición de un problema de calidad sobre la pieza, etc.

### **2.2.13 Tiempo de Parada Funcional (TAF)**

Tiempo incluido dentro del tiempo de parada pero causado por el funcionamiento normal del medio, generalmente de manera frecuente y determinada (cambio de herramienta, regulación frecuencial, control de pieza, mantenimiento frecuencial, etc.).



#### **2.2.14 Tiempo de Parada Inducida (TAI)**

Tiempo durante el cual el medio de producción no puede realizar su función por causas externas (falta de piezas, saturación de piezas a la salida, falta de personal, fallo de suministro energético...)

#### **2.2.15 Tiempo de Parada Inducida de Saturación (TAIs)**

Tiempo de parada del medio debido a una causa externa originada *aguas abajo* del medio, siguiendo el flujo de la línea de producción.

#### **2.2.16 Tiempo de Parada Inducida por falta de piezas o fallo de alimentación (TAIm)**

Tiempo de parada del medio debido a una causa externa originada *aguas arriba* del medio, siguiendo el flujo de la línea de producción.

#### **2.2.17 Tiempo de Parada por otra causa (TAIa)**

Tiempo de parada del medio de producción, debida a una causa ajena al perímetro del medio, que puede ser por falta de algún recurso externo (energía, pallets, separadores, etc...) o por falta de una intervención externa (decisión/validación de operario, aprovisionamiento manual...).

Para uso posterior, se definen los siguientes cocientes:



### 2.2.18 Disponibilidad Operacional:

$$D_o = \frac{TF}{TR} = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento}}{\text{Tiempo requerido}}$$

### 2.2.19 Disponibilidad Propia :

$$D_p = \frac{TF}{TF+TAP} = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento}}{\text{Tiempo de funcionamiento}+\text{Tiempo de parada propia}}$$

### 2.2.20 Disponibilidad Inducida:

$$D_i = \frac{TR-TAI}{TR} = \frac{\text{Tiempo requerido} - \text{Tiempo de parada inducida}}{\text{Tiempo requerido}}$$

y la relación entre las tres:  $D_o = D_p \times D_i$

### 2.2.21 Indisponibilidad operacional:

$$I_o = 1 - D_o = 1 - \text{Disponibilidad operacional}$$



## 2.3 Tiempo de Ciclo. Rendimiento Operacional

Se define tiempo de ciclo como el tiempo entre unidades de producción iguales fabricadas por un medio o un conjunto de medios que trabajan en paralelo. Determina la capacidad productiva del medio.

**Tiempo de ciclo teórico** ( $T_{cth}$ ), es el que el medio es capaz de alcanzar según diseño, siempre que esté bien provisionado y todas sus funciones en servicio. Se le llama también *tiempo de ciclo de método*.

**Tiempo de ciclo práctico** ( $T_{cpr}$ ), es el que se espera del medio y nunca debe ser inferior al teórico.

**Tiempo de ciclo real medio** ( $T_{cm}$ ) incluye los tiempos de espera que son habituales en las líneas de producción, como son falta de piezas, saturación a la salida, máquina parada a la espera de cambio de herramientas, etc. Se calcula como:

$$T_{cm} = \frac{TF}{NPR} = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento}}{\text{Número de piezas realizadas}}$$

El tiempo de ciclo se suele expresar en segundos o en centésimas de minuto y su medición debe realizarse con el medio en perfectas condiciones y al menos sobre un total de 10 ciclos (10 piezas producidas).

El **Rendimiento Operacional** (también conocido en la industria como OEE, *Overall Equipment Effectiveness*, Efectividad Global de los Medios) representa la capacidad real de producción de la instalación durante el tiempo requerido respecto a la capacidad teórica (sin pérdidas) cuando la instalación funciona con el tiempo de ciclo teórico.



$$R_o = \frac{NPB}{NPTR} = \frac{\text{Número de piezas buenas realizadas}}{\text{Número de piezas realizables en la práctica}}$$

El número de piezas buenas realizadas se mide a la salida del perímetro de control que, en el caso de una línea de producción, es el número de piezas buenas que se envían a otra instalación (por ejemplo, el taller de tratamientos térmicos respecto de una línea de mecanizado en blando) o al cliente (por ejemplo, desde una línea de mecanizado en duro a la cadena de montaje final).

De la misma manera, y en el caso más habitual, este indicador será utilizado sobre una línea de producción y el número de piezas realizables se determinará a partir del tiempo de ciclo mayor (máquina *tapón* o *cuello de botella*), suponiendo un funcionamiento continuo durante todo el tiempo requerido y sin originar desechos (piezas no conformes).

$$NPTR = \frac{TR}{T_{cth}} = \frac{\text{Tiempo Requerido}}{\text{Tiempo de ciclo teórico}}$$

Volviendo a la expresión original para  $R_o$  es posible realizar el siguiente desglose para dicho indicador:

$$R_o = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento}}{\text{Tiempo requerido}} \times \frac{\text{Tiempo de ciclo teórico}}{\text{Tiempo de ciclo real medio}} \times \frac{\text{N}^\circ \text{ de piezas buenas}}{\text{N}^\circ \text{ de piezas realizadas}}$$

$$\left( \text{puesto que } \frac{\text{Tiempo de ciclo teórico}}{\text{Tiempo requerido}} = \frac{1}{NPTR} \text{ y } \frac{\text{Tiempo de funcionamiento}}{\text{Tiempo de ciclo real medio}} = \text{N}^\circ \text{ de piezas realizadas} \right)$$

donde el primer término ya fue definido en el apartado anterior como la Disponibilidad Operacional (Do), el segundo término se denomina **Rendimiento velocidad** y el tercero **Tasa de Calidad**.



La expresión anterior del Rendimiento Operacional permite identificar las causas principales de las pérdidas de Ro:

- Tiempos de parada (propios o por avería)
- Tiempos de espera y discontinuidades en el flujo
- Capacidad de producción
- Producción de piezas No Conformes

El Rendimiento Operacional es el indicador más usado en el seguimiento de la capacidad productiva de las líneas de fabricación. En el funcionamiento diario de la factoría, se hace el seguimiento de cada línea a través de los datos de producción aportados al final de cada turno, así como de los informes de parada de máquina de los operarios.

La evolución del Rendimiento operacional se representa sobre una gráfica temporal y ocupa un lugar preponderante en los llamados 'Paneles de Línea', donde se realizan las reuniones *a pie de máquina* para analizar la producción y los problemas que impidan alcanzar el Ro Objetivo. Para una línea de mecanizado de entre las consideradas en este proyecto, este objetivo se encuentra entre el 85 y el 90 por ciento, mientras que, para una línea de montaje el rendimiento esperado medio es de entre 90 y 95 por ciento.

## 2.4 El Valor de Transformación

De la definición dada para el objetivo de cualquier sistema industrial de producción, 'producir una cantidad determinada de productos conformes (dentro de especificaciones) durante un tiempo determinado al mejor coste total posible', surge inmediatamente la necesidad de contar con un indicador de los costes asociados a la fabricación.



Aunque se puede partir de la unidad mínima de trabajo (la máquina + el operario) y asociar a estos los costes por pieza fabricada, esto supondría una fuente de problemas innecesarios. Sería necesario calcular para cada máquina los costes propios de energía y fluidos, el coste de herramientas, de mantenimiento, la amortización para nuevos medios, etc.

Además, todos los gastos asociados a cada una de las piezas fabricadas de esta manera, deberían poder sumarse y que el valor obtenido coincidiera exactamente con los costes en los que incurre la fábrica en su actividad productiva.

Todo esto es innecesario al contar con una herramienta de gestión como el **Valor de Transformación (VT)**. Este se define para el producto final como la suma total de los costes asociados a la fabricación de una unidad de producto, en este caso una caja de cambios.

Dado que el objetivo final del aumento de la productividad es la reducción de costes, es lógico utilizar este parámetro, si bien indirectamente, como indicador cuantitativo para las acciones de mejora del proceso.

El VT es un indicador valioso, ya que de éste es posible realizar automáticamente un desglose detallado por Centros de Gasto, por pieza e incluso por línea o máquina.

Partiendo del VT, para una determinada referencia de producto, se realiza un reparto de los costes en los que incurre cada una de las partes de la fábrica en la producción de una unidad de producto. Dado que el desglose puede llegar hasta el nivel de línea de fabricación y/o pieza individual, será posible estimar de antemano la mejora en el VT que se puede obtener tras un cambio de proceso.



El otro desglose posible es el de conceptos. El coste final por caja (o por pieza) se podrá desglosar de manera genérica en:

1. **VT(MOD):** Coste de la mano de obra directa (operarios).
2. **VT(MOS):** Coste de la mano de obra indirecta (todo el personal no directamente relacionado con la producción).
3. **VT(FIP):** Costes de producción (coste de la electricidad, agua, fluidos de corte, etc...).
4. Coste de las piezas en bruto o de origen exterior

De los cuatro puntos anteriores, los tres primeros (junto a los costes de amortización de los equipos) forman el valor de transformación. El último coste no se puede considerar en el cálculo de este indicador. Por otro lado, para los objetivos de este proyecto no afecta este concepto puesto que no varía su valor con ninguna de las acciones contempladas (si lo haría mediante un cambio en sus especificaciones de composición o geométricas, mediante la compra en mayores lotes, cambios en el los tiempos de aprovisionamiento, etc...).

Para los otros tres, cualquier acción sobre las líneas de fabricación tendrá un efecto en el VT del producto. En el caso genérico, se tendrán efectos negativos (incremento de VT) o positivos (decremento de VT). El coste de los cambios (los costes en nuevos equipos, horas de ingeniería y gastos de arranque no se incluyen en el cómputo del VT).

Para una pieza cualquiera, se puede establecer la siguiente relación aproximada (obtenida del análisis de los datos de coste de todas las piezas):



$$VT(MOD) \approx VT(FIP) \approx 2\div 3 \times VT(MOS)$$

Sin embargo, en un proceso de mejora de la productividad por optimización del número de operarios (MOD), se tendrá:

$$\Delta VT(MOD) \gg \Delta VT(FIP)$$

puesto que la disminución de la mano de obra directa no afectará a los consumos de los medios productivos, y:

$$\Delta VT(MOS) \approx 0$$

Como se verá más adelante, el análisis de mejora de la productividad proporcionará la herramienta que permita cuantificar la mejora de VT asociada.

## 2.5 Mano de Obra Directa (MOD)

Una vez analizado el concepto de Rendimiento Operacional, se debe estudiar el otro gran condicionante del aumento de la productividad: la mano de obra.

De los objetivos del presente Proyecto puede inferirse la importancia relativa del coste de la mano de obra sobre el aumento de la productividad. Una de las prioridades del trabajo de mejora de la productividad es la reducción de mano de obra.

Para las líneas de producción estudiadas, se puede considerar que el coste de mano de obra directa, es decir, el coste de los salarios de los operarios directamente involucrados en la producción, supone alrededor de



un 40% del coste de fabricar una unidad de producto (valor de transformación).

A partir de los estudios de métodos de trabajo se determina la ocupación de operario en su puesto de trabajo, lo cual permite identificar aquellos puntos, donde es posible mejorar la distribución de mano de obra, especialmente en un taller de mecanizado de estas características, donde la movilidad del operario es alta, debido al número de máquinas y el nivel de automatización.

Para la determinación de las cargas de operario es indispensable definir los tiempos de operario. Una vez calculado el tiempo de operario necesario para la fabricación de una pieza, se determinará:

- El número de operarios necesarios, para una producción dada
- La producción alcanzable con el número de operarios disponible

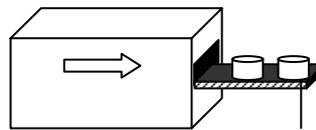
Antes de definir el desglose de tiempos, conviene resumir las tareas propias del operario:

- a) Carga y descarga de piezas en máquina.** En el ámbito de este proyecto y dado el alto nivel de automatización del taller, este tiempo es relativamente pequeño, si no nulo, para la mayor parte de piezas.

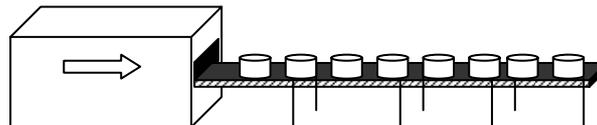
Por norma general, en las líneas afectadas por este Proyecto sólo se encuentran cargas y descargas manuales en las máquinas de cabecera de línea y en las máquinas de final de línea respectivamente.



En el caso de la carga o descarga manual y para aliviar la carga del operario, se instalan transportadores de acumulación o 'pulmones', en los que el operario puede cargar una gran cantidad de piezas de una vez, en el caso de la carga, mientras que en el caso de una descarga evitan la parada de la máquina de salida de línea por saturación a la salida.



Descarga manual sin acumulación



Descarga manual con acumulación

Figura 2.2. Aumento de la autonomía de operario con acumulación de piezas.

Otro inconveniente de las cargas y descargas manuales, es la suplementación de tiempos por esfuerzo o postura, como se verá más adelante.

**b) Manejo de máquina.** La operación de las máquinas herramienta, lavadoras, automatizaciones son responsabilidad del operario que ocupa un puesto determinado. El grado de dificultad u ocupación de esta tarea varía fundamentalmente por la antigüedad de la máquina (máquinas más antiguas suelen requerir manipulaciones más complejas) y la



tecnología de la máquina (los distintos procesos de mecanizado requieren manipulaciones muy diversas).

- c) **Cambio de herramienta.** Una vez alcanzado el fin de vida de las herramientas, el operario debe proceder al cambio de la herramienta. Dada la variedad de procesos de mecanizado en el taller, estos cambios pueden ser de duraciones y cargas de trabajo muy dispares dentro de un mismo puesto.
- d) **Verificación de pieza.** Para asegurar el cumplimiento de las especificaciones para las características a controlar, tras cada operación, el operario dispone de los medios para realizar dicho control. Cada verificación lleva asociada una frecuencia con la que el operario debe verificar una pieza (frecuencia determinada por factores de calidad y fiabilidad) y una frecuencia de reglaje del medio de control.
- e) **Vigilancia.** En ocasiones, y por requerimientos del proceso, es necesario que en momentos puntuales el operario controle algún parámetro del proceso manual, visual o auditivamente.
- f) **Desplazamientos.** Para el caso de más de una máquina asignada por puesto, se deben tener en cuenta los tiempos invertido por el operario entre las posiciones en las que debe realizar cada una de las tareas asignadas. Para la evaluación de estos desplazamientos se consideran: Distancia, dificultad de movimientos, carga y esfuerzo y frecuencia.

Todas estas actividades se pueden diferenciar en cíclicas y frecuenciales según el número de veces que aparecen: Una vez por ciclo, en el caso de la primera y 1 vez cada  $n$  ciclos, en las segunda.



Con todas las actividades a realizar por el operario anteriormente descritas, surge la posibilidad de computar el tiempo que el operario necesita de media para la realización de una unidad de producto.

## 2.6 Tiempo concedido

En el ámbito de una línea de producción determinada, se entiende por 'tiempo concedido', al tiempo en el que se debe conseguir una unidad de producto fabricada (una pieza). En el tiempo concedido se engloban todos los factores que afectan a la producción, la máquina y el operario.

En general, cuando se habla de tiempo por pieza, se entiende como el tiempo *medio* por pieza. En este caso, el tiempo concedido es el cociente entre el número de minutos de trabajo (las 8 horas del turno completas suponen 480 minutos) dividido entre las producción en piezas a alcanzar en ese periodo de tiempo, y se expresa en minutos/pieza.

Se habla por tanto en términos de tiempo como indicador de la producción: Un tiempo concedido bajo, implica una mayor producción y viceversa.

Al partir para su formulación del total de minutos trabajables por el operario y del total de piezas producidas, el tiempo concedido engloba a todos los demás, y sobre él se puede realizar el desglose de la figura 2.3, que se explica a continuación:

### 2.6.1 Tiempo de ciclo (Tcth)

Es el tiempo empleado para la producción de unidades de producto idénticas. Se mide como el tiempo entre cargas, por ejemplo. Se divide en el tiempo de máquina (TM) y el tiempo manual (Tma).



### 2.6.2 Tiempo de máquina (TM)

Es el tiempo durante el cual, el único trabajo realizado sobre la pieza a producir, es efectuado por una máquina de manera automática.

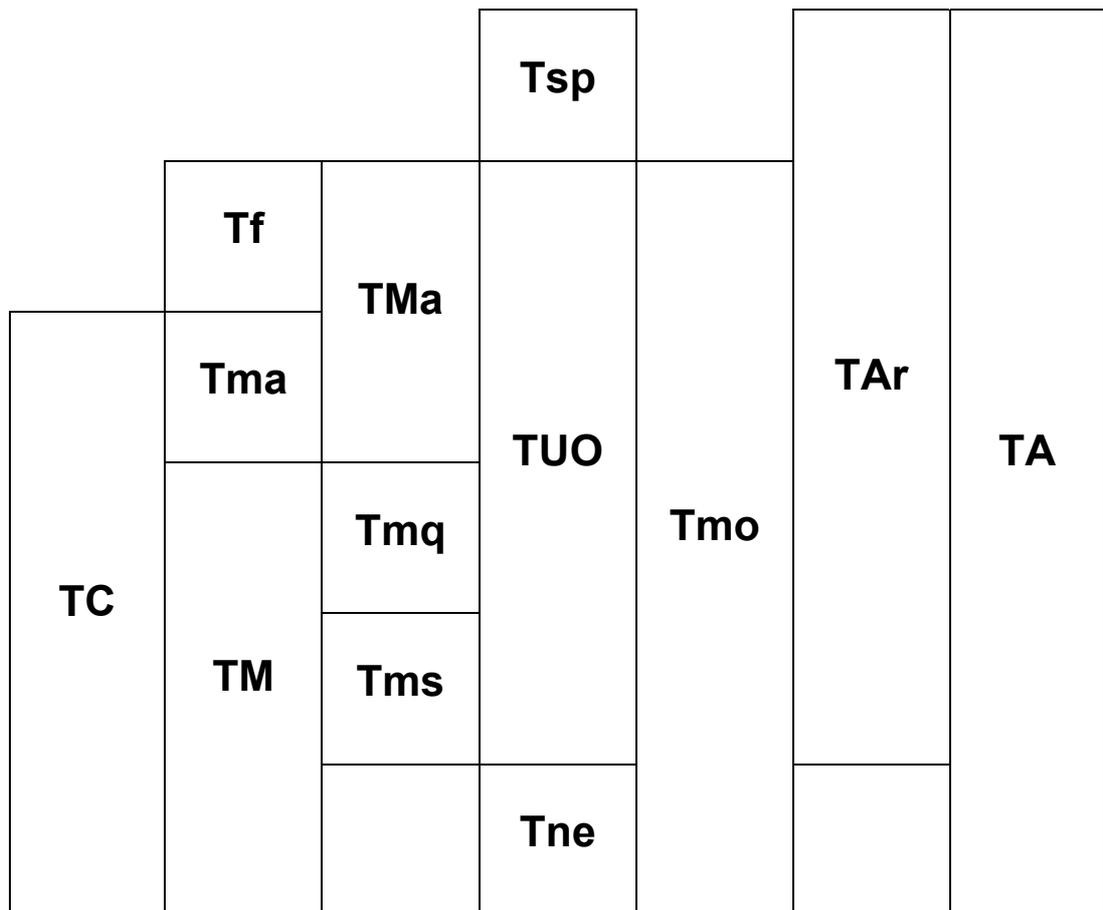


Figura 2.3. Descomposición del tiempo concedido (TA).

### 2.6.3 Tiempo manual (Tma)

Este tiempo es siempre incompatible con el anterior y es el periodo de un ciclo en el que el operario realiza manipulaciones de la pieza o piezas sobre las que realiza la operación la máquina. Los únicos medios



mecánicos que pueden asistir al operario son los inertes, es decir, los movidos sólo por la intervención manual del operario (un polipasto manual, una manivela, etc...).

Para una operación con máquina completamente automatizada, este tiempo es cero, puesto que el tiempo de carga y descarga se considera tiempo de máquina.

En el extremo contrario, una máquina completamente manual (una máquina de repaso de golpes, una descarga manual, etc..), este tiempo puede tener un valor relativamente alto, e incluso tener tiempo de máquina nulo, en cuyo caso el tiempo de ciclo sería completamente manual (en el ejemplo de una máquina de repaso, el tiempo de ciclo es el tiempo que tarda el operario, de media, en eliminar las marcas o golpes sobre la pieza repasada).

#### **2.6.4 Tiempo frecuencial ( $T_f$ )**

Es el tiempo asignado a la realización de una tarea frecuencial (1 vez cada  $n$  ciclos). La máquina se encuentra parada durante este tiempo.

#### **2.6.5 Tiempo de vigilancia ( $T_{ms}$ )**

Parte del tiempo de máquina en el que el operario realiza una labor de vigilancia sobre el funcionamiento de la máquina. Suele definirse como un tiempo al principio o al final del ciclo de la máquina y estar delimitado claramente por algún tipo de señal o movimiento de la máquina (por ejemplo, comprobación de la aproximación a la herramienta tras el cambio de la misma). Puede ser cíclico (poco común en máquinas automatizadas) o frecuencial (por ejemplo, puede requerirse la vigilancia del operario en el



primer ciclo tras cambio frecuencial de herramienta, en cuyo caso tendría la misma frecuencia que éste).

#### **2.6.6 Tiempo solapado (Tmq)**

Se entiende por tiempo solapado u oculto, aquel en el que se realizan otras tareas, no relacionadas con el ciclo automático de la máquina, durante el tiempo de ejecución de dicho ciclo.

#### **2.6.7 Tiempo de máquina parada (TMa)**

No se debe confundir con el Tma, tiempo manual, aunque el tiempo de máquina parada lo englobe.

Este tiempo es la suma de los tiempos en los que la máquina se encuentra fuera del ciclo automático bien durante el tiempo manual o el frecuencial.

#### **2.6.8 Tiempo no dedicado (Tne)**

Es el tiempo asignado (por pieza) en el que el operario no realiza ninguna tarea durante el funcionamiento normal de la máquina.

#### **2.6.9 Tiempo suplementario personal (Tsp)**

Tiempo que se le concede al operario para compensar las interrupciones por necesidades personales (ir al cuarto de baño, beber agua, etc..) o com o recuperación de un esfuerzo realizado durante el trabajo normal.



### **2.6.10 Tiempo de utilización obrera (TUO)**

Es el tiempo de ocupación del operario por pieza para la operación en cuestión. Es la suma de los tiempos de vigilancia, solapados y de máquina parada. Es el tiempo con el que se calcula la carga de operario.

$$TUO = Tms + Tmq + TMA = Tms + Tmq + Tma + Tf$$

Se trata básicamente del tiempo en el que el operario está involucrado en una tarea directamente productiva, es decir, todo el tiempo excepto el tiempo en el que no está realizando ninguna tarea ( $Tne$ ) y en el que está liberado de ello ( $Tsp$ ).

### **2.6.11 Tiempo mínimo de operación (Tmo)**

También llamado tiempo tipo. Es el tiempo de ciclo mayorado por el tiempo de máquina parada. Si fuera un tiempo de ciclo, sería el de una máquina que funcionando continuamente, realizara el mismo número de piezas que la máquina real. Tecnológicamente, no es posible exigir de la máquina un tiempo menor, puesto que es el tiempo mínimo por pieza de funcionamiento normal.

### **2.6.12 Tiempo concedido de referencia (TAr)**

Es el tiempo que se le concede al operario para realizar una pieza considerando que todo el tiempo en el que debe estar en la línea (es decir, todo el tiempo menos el  $Tsp$ ) es productivo. Por lo tanto, no se tiene en cuenta el tiempo no dedicado,  $Tne$ .



### 2.6.13 Tiempo concedido (TA)

Volviendo a la definición original, el TA es el tiempo medio entre piezas producidas y equivale a hablar de producción total:

$$\text{Producción (piezas)} = \frac{6000}{\text{TA (cmn)}}$$

donde el tiempo se expresa en centésimas de minuto, que es la unidad más común para los cálculos de métodos de trabajo.

Estos tiempos son consignados por el Técnico de Métodos de Trabajo tras la realización de las mediciones necesarias. Las '*Hojas de Análisis de Tiempos*' son actualizadas tras cada cambio de proceso o por defecto cada dos años.

El documento oficial que delimita el perímetro de trabajo y las tareas asignadas al operario es '*Resumen de Línea LIF*'. En él se documentan los tiempos tanto de maquinaria como los concedidos al operario.

El Resumen de línea LIF se conoce también con el nombre de *Maqueta de operario*, puesto que en él se recoge visualmente la información de qué máquinas o zonas de una línea de mecanizado están bajo su responsabilidad. LIF es el acrónimo de *Línea Integrada en Fabricación*.

La reordenación de estas zonas de trabajo, manteniendo la carga de trabajo de cada operario por debajo del máximo permitido, para reducir el número de operarios necesarios es uno de los objetivos de este Proyecto.



Se analizarán a continuación ambos documentos en detalle ya que los estudios posteriores se apoyarán en parte en la explotación de la información en ellos contenida.

## **2.7 El documento ‘Resumen de Línea LIF’**

En la figura 2.4 de la página 39 se encuentra un ejemplo de este documento.

Se parte de una representación esquemática de la línea, consistente en un sinóptico sencillo (también conocido como ‘cursograma sinóptico’ en la Normativa UNE, habiéndose preferido mantener la nomenclatura propia de RENAULT en este proyecto), representando todas las operaciones de mecanizado o reglaje de la línea.

Se representa cada máquina, o medio, mediante recuadros identificados con la matrícula de aquella. Las líneas que los unen representan el flujo de piezas a través de las máquinas. El sinóptico pretende mostrar esquemáticamente el flujo productivo, no ser una representación fiel de la distribución en planta del taller. Véase como ejemplo la figura 2.5, en la que se muestran el plano real de una línea y su sinóptico correspondiente.

Se utilizan los convenios habituales para representar máquinas trabajando en paralelo u otras configuraciones especiales.

A continuación y sobre una tabla, se consignan los siguientes datos correspondientes a cada operación:

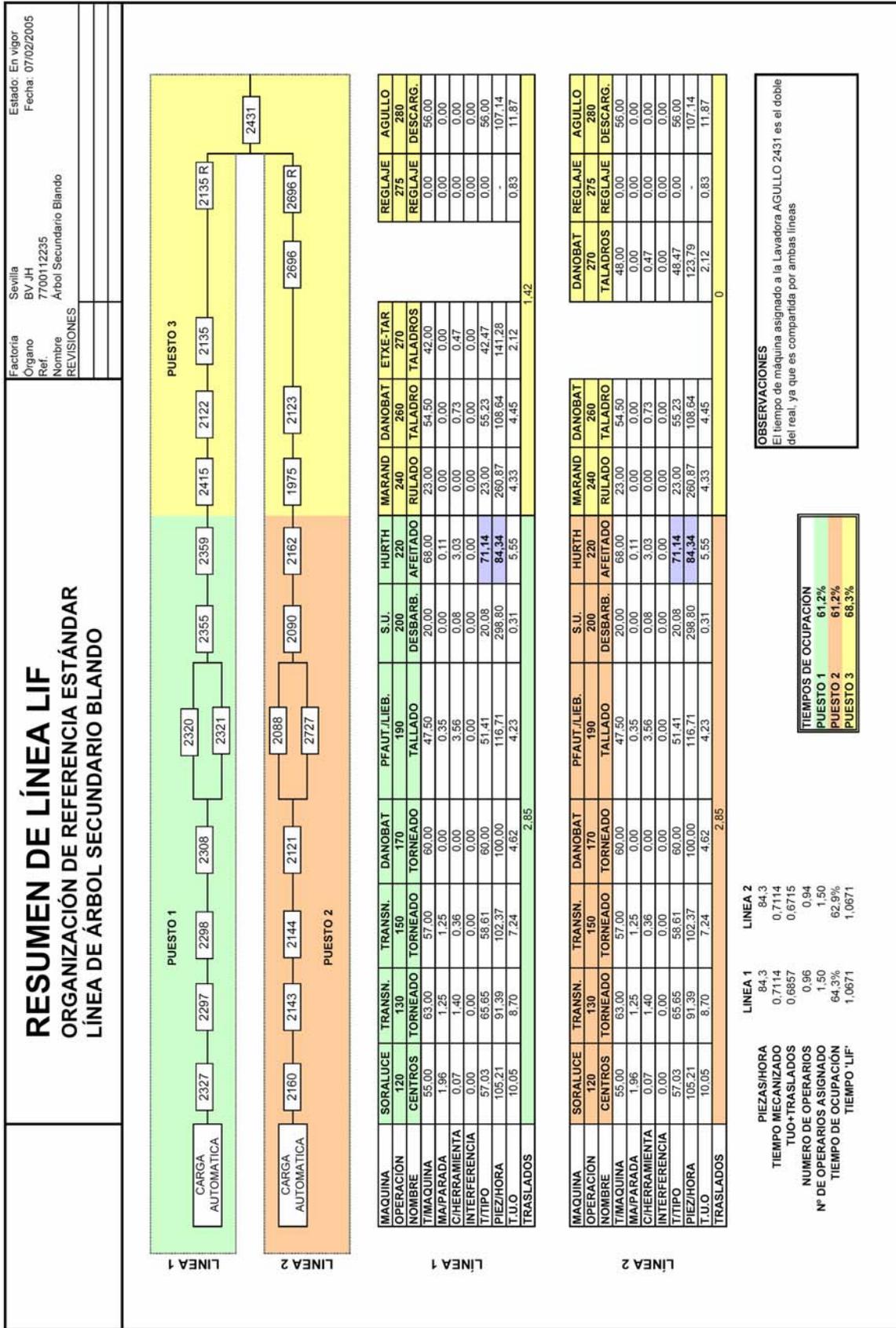


Figura 2.4. Ejemplo del documento Resumen de Línea LIF.

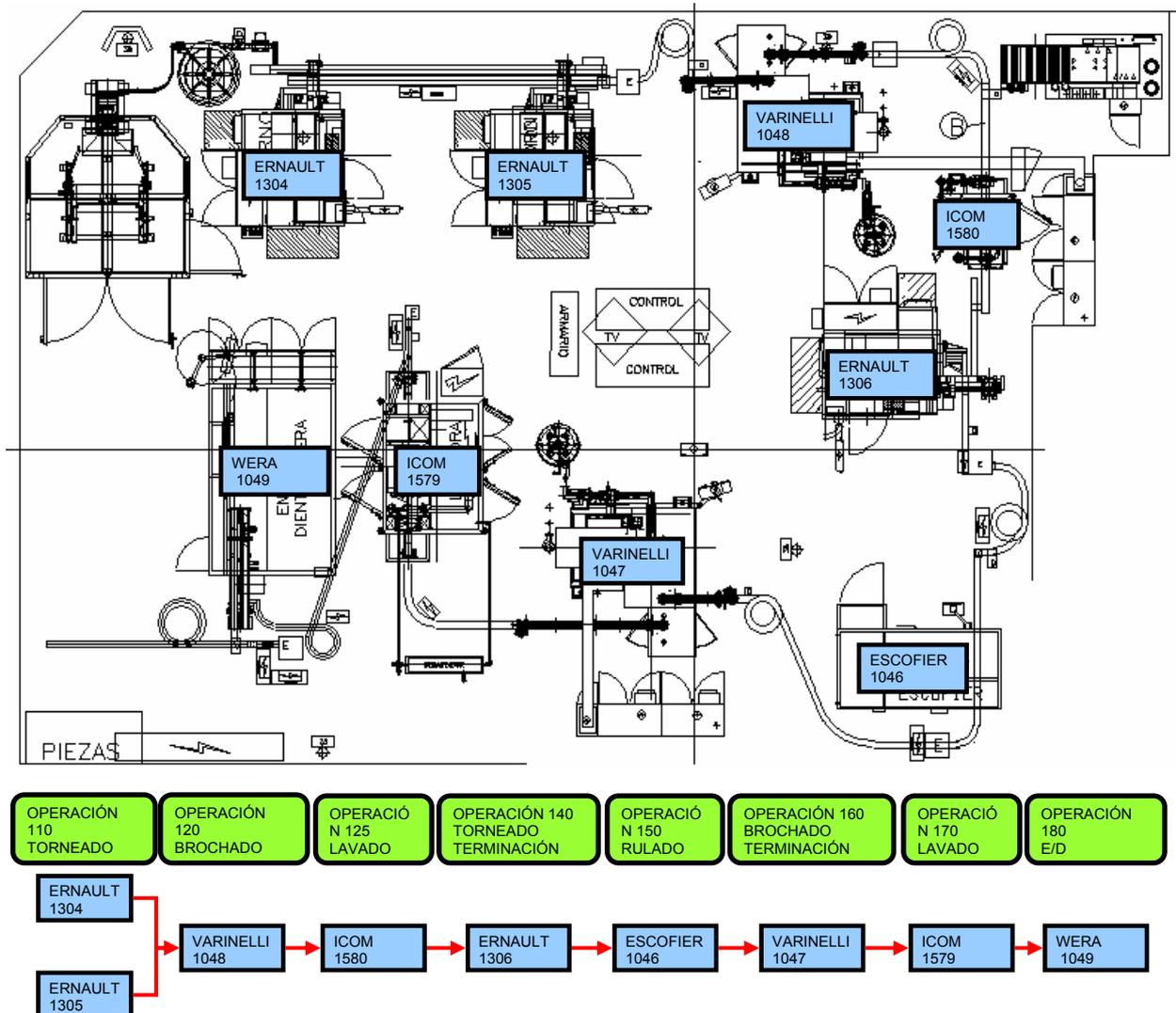


Figura 2.5. Distribución en planta de una línea de fabricación y su sinóptico de máquinas.

### Máquinas

Generalmente se indica el nombre de la máquina (nombre del fabricante y/o modelo), la operación realizada (torneado, tallado, etc...), el número de matrícula o cualquier combinación de ellos.

### Operación

A cada operación se le asigna un número identificativo, de manera secuencial y generalmente utilizando números que saltan de decena en decena (OP110,



OP130, OP140, etc...). Este número coincide con el asignado en la *Ficha Esquema* o *Gama* de la pieza, que es la documentación técnica que describe el proceso.

|                    |  |
|--------------------|--|
| <b>Nombre</b>      | Denominación asignada a la operación. También extraída de la <i>Ficha esquema</i> .  |
| <b>T. máquina</b>  | Es el tiempo de ciclo de la máquina (tcth o tcpr). Se expresa en centésimas de minuto. Es medido por el técnico de métodos.  |
| <b>Maq. parada</b> | Es el tiempo en el que la producción es detenida por el operario para realizar una operación de corrección de medida o una regulación. No incluye el tiempo de avería o limpieza. Es medido por el técnico de métodos. Se expresa en centésimas de minuto por pieza. |
| <b>Cambio HTA.</b> | Tiempo medido por el técnico de tiempos y empleado por el operario para el cambio frecuencial de herramientas gastadas por parte del operario. Se expresa en centésimas de minuto por pieza.   |
| <b>T. tipo</b>     | Es la suma de los tres términos anteriores (tiempo de ciclo, tiempo de máquina parada y tiempo de cambio de herramienta) y representa el tiempo de ciclo equivalente con un funcionamiento sin paradas produciendo el mismo número de piezas.                        |



**Pzas. Hora** A partir del dato anterior, se calcula el número de piezas que se puede producir en una hora de funcionamiento mediante la expresión:

$$\text{Piezas/hora} = \frac{6000}{\text{T. tipo}}$$

**T.U.O.** Tiempo de Utilización Obrera. Obtenido en el estudio de tiempos por el técnico de métodos. Representa el tiempo concedido al operario para producir una pieza en esa operación y se expresa en centésimas de minuto por pieza.

**Traslados** Es el único término para cuyo cálculo es necesario conocer de antemano la distribución de operarios en la línea. Es medido por el técnico de tiempos y representa el tiempo empleado por el operario en los trayectos entre los diversos puntos de la línea donde debe realizar las tareas asignadas.

Incluye los suplementos asociados a la dificultad de movimientos o a la repetibilidad. Se expresa en centésimas de minuto por pieza. Se le asigna un tiempo de traslados a cada operario considerado en la distribución.

Este término se añade al del T.U.O. para obtener el **T.U.O. total**, que representa la 'cantidad de trabajo asociado a la producción de una pieza'.



Una vez se tengan todos estos datos para todas las operaciones, se determina el número máximo de **piezas/hora** que se puede producir en la línea, que está limitado por el 'tiempo tapón' de la línea, que es el de la máquina o grupo de máquinas más lento (con tiempo tipo mayor). Este tiempo recibe el nombre de **tiempo de mecanizado**.

A continuación se determina el **número de operarios** necesario para esa producción mediante el cociente 'T.U.O total / Tiempo de mecanizado', que representa al cociente 'Piezas producibles teóricamente por las máquinas / Piezas producibles por un operario'.

Este número se redondea por exceso, para asegurar que la carga del operario se mantiene por debajo del máximo permitido.

Del cociente anterior dividido por el número de operarios asignado (el obtenido por redondeo) se obtiene el **tiempo de ocupación** medio. Éste representa la carga de trabajo de los operarios asignados a la línea y debe mantenerse siempre por debajo de 0,85 por convenio.

Al realizar la asignación de máquinas a cada operario se tiene en cuenta de nuevo que este límite del 85% de ocupación no puede ser superado por los tiempos de ocupación individuales, obtenidos como el cociente de los T.U.O. asignados a cada operario dividido entre el tiempo de mecanizado.

Otro objetivo al realizar la maqueta de operario es equilibrar lo máximo posible las cargas de trabajo para que las diferencias sean lo menores posibles. Se admite una desviación del 10% entre el tiempo de ocupación media y los tiempos de ocupación individuales máximo y mínimo. Esto quiere decir, que en el caso de una línea con dos operarios, sería admisible cargar a uno de ellos hasta el 85% mientras el otro operario no tenga un tiempo de ocupación por debajo del 65%.



Finalmente se calcula el **tiempo LIF**, que es un indicador fundamentalmente de gestión, ya que indica los minutos de operario necesarios por pieza fabricada y sirve para calcular los costes de la mano de obra asociados a la pieza. Se expresa en minutos por pieza y se calcula como:

$$\text{Tiempo LIF} = \text{Tiempo de mecanizado} \times \text{Número de operarios}$$

El tiempo LIF es la herramienta que permite cuantificar la mejora de la productividad, como se mencionó al final del apartado anterior.

## 2.8 El documento 'Hoja de Análisis de Tiempos'

A pesar de ser la base para cualquier estudio de métodos de trabajo, la importancia relativa de este documento para el planteamiento del presente Proyecto es menor que la del 'Resumen de Línea LIF', tanto por nivel de detalle como por concepción. Se plantea en la mayor parte de los casos la necesidad de eliminar o redistribuir conjuntos completos de tareas más que de optimizarlas, una a una, con excepciones como la mejora del tiempo de *cambio de ráfaga* (un cambio de ráfaga consiste en la preparación de una determinada línea para el paso de una referencia de pieza a otra distinta. También es conocido como *set-up time*).

Por otra parte, en aquellas situaciones en las que se pudiera constatar una pequeña mejora necesaria para posibilitar una ganancia mayor, es útil disponer de esta herramienta para el presente estudio, como se verá en los casos prácticos presentados más adelante.

En la figura 2.6 de la página 46, se presenta una hoja de análisis estándar, donde se consignan los resultados del estudio de métodos y cronometraje



a pie de máquina. En ella se encuentra en primer lugar un recuadro superior con la siguiente información:

**Pieza** Este cuadro contiene la información concerniente a la pieza sobre la cual se han realizado las mediciones. En general, y para una misma línea, las diferentes piezas o referencias deben recibir cronometrajes diferentes. Aunque las diferencias suelen ser mínimas (el control por parte del operario de un piñón de 39 dientes puede ser más rápido que el de uno de 41 dientes, por ejemplo), debe garantizarse que la documentación incluya todos los casos posibles.

En el caso de una nueva línea, se permite la fabricación en serie con sólo una referencia cronometrada de manera provisional (nunca más de 3 meses).

**Operación** Contiene la información identificativa de la operación estudiada. Cada operación del proceso de fabricación se recoge en una hoja de tiempos diferente, en la que se incluyen únicamente las fases pertenecientes a dicha operación.

**Máquina** Identifica el medio o medios que realizan la operación estudiada por su nombre (Fabricante y/o modelo) y matrícula.



| HOJA DE ANÁLISIS DE TIEMPOS<br>LINEAS LIF                           |                                       |                                   |          |        |  |           |               |                    |                          |   |    |    |    |    |    |    |     |      |  |
|---|---------------------------------------|-----------------------------------|----------|--------|--|-----------|---------------|--------------------|--------------------------|---|----|----|----|----|----|----|-----|------|--|
| PIEZA   |                                       | OPERACION                         |          |        | MAQUINA  |           |               | TECNICO MDT        |                          |   |    |    |    |    |    |    |     |      |  |
| DENOMINACIÓN: ÁRBOL SECUNDARIO<br>REF.: 8200329045<br>TIPO CAJA: JH |                                       | OP: 220<br>NOMBRE: AFEITADO PIÑÓN |          |        | NOMBRE: AFEITADORA HURTH<br>MATR.: 2162 / 2359 |           |               | FECHA:<br>HOJA Nº: |                          |   |    |    |    |    |    |    |     |      |  |
| Nº ELEM   | DENOMINACIÓN ELEMENTO                 | NATU TPO                          | T. NOR T | FREC N | ACT  | (T/N)/ACT | Tmo (T/N)/ACT | T.U.O. Tmo x K     | SUPLEMENTOS POR DESCANSO |   |    |    |    |    |    |    |     |      |  |
|   |                                       |                                   |          |        |  |           |               |                    | NP                       | F | EE | EM | MT | VM | VL | CA | K % |      |  |
| 1   | CARGA Y DESCARGA                      | TM                                | 6,80     | 1      | 1  | 6,80      | 6,80          | -                  |                          |   |    |    |    |    |    |    |     |      |  |
| 2   | AFEITADO PIÑÓN                        | TM                                | 61,20    | 1      | 1  | 61,20     | 61,20         | -                  |                          |   |    |    |    |    |    |    |     |      |  |
| 3   | DESPLAZARSE A CADENA PARA COGER PIEZA | Tmq                               | 14,80    | 90     | 1  | 0,16      | -             | 0,18               | 5                        | 4 | -  | 2  | -  | -  | -  | -  | -   | 1,11 |  |
| 4   | COGER PIEZA Y DESPLAZARSE HASTA MESA  | Tmq                               | 12,40    | 90     | 1  | 0,14      | -             | 0,15               | 5                        | 4 | -  | 2  | -  | -  | -  | -  | -   | 1,11 |  |
| 5   | SOPLAR PIEZA CON AIRE                 | Tmq                               | 25,80    | 90     | 1,25   | 0,23      | -             | 0,25               | 5                        | 4 | -  | 2  | -  | -  | -  | -  | -   | 1,11 |  |
| 6   | COMPROBAR PATRÓN                      | Tmq                               | 45,00    | 300    | 1,15   | 0,13      | -             | 0,14               | 5                        | 4 | -  | 2  | -  | -  | -  | -  | -   | 1,11 |  |
| 7   | VERIFICAR COTA DE BOLAS Y FR          | Tmq                               | 35,30    | 90     | 1,2  | 0,33      | -             | 0,36               | 5                        | 4 | -  | 2  | -  | -  | -  | -  | -   | 1,11 |  |
| 8   | DESPLAZARSE A CADENA Y SOLTAR PIEZA   | Tmq                               | 12,40    | 90     | 1  | 0,14      | -             | 0,15               | 5                        | 4 | -  | 2  | -  | -  | -  | -  | -   | 1,11 |  |
| 9   | DESPLAZARSE HASTA GRÁFICO Y VOLVER    | Tmq                               | 200,00   | 300    | 1  | 0,67      | -             | 0,74               | 5                        | 4 | -  | 2  | -  | -  | -  | -  | -   | 1,11 |  |
| 10  | DESPLAZARSE PARA CORREGIR MEDIDA      | Tmq                               | 25,00    | 375    | 1  | 0,07      | -             | 0,07               | 5                        | 4 | -  | 2  | -  | -  | -  | -  | -   | 1,11 |  |
| 11  | CORREGIR MEDIDA                       | Tmf                               | 50,00    | 375    | 1,2  | 0,11      | 0,11          | 0,13               | 5                        | 4 | -  | 4  | -  | -  | -  | -  | -   | 1,13 |  |
| 12  | CAMBIAR AFEITADOR                     | Tmf                               | 5000,00  | 1500   | 1,1  | 3,03      | 3,03          | 3,36               | 5                        | 4 | -  | 2  | -  | -  | -  | -  | -   | 1,11 |  |
| DATOS RESUMEN LINEA LIF   |                                       |                                   |          |        |  |           |               |                    |                          |   |    |    |    |    |    |    |     |      |  |
| Tmo   |                                       | 71,14                             |          |        |  |           |               |                    |                          |   |    |    |    |    |    |    |     |      |  |
| T.U.O.  |                                       | 5,55                              |          |        |  |           |               |                    |                          |   |    |    |    |    |    |    |     |      |  |
| Piezas/hora   |                                       | 84,3                              |          |        |  |           |               |                    |                          |   |    |    |    |    |    |    |     |      |  |
| OBSERVACIONES:  |                                       |                                   |          |        |  |           |               |                    |                          |   |    |    |    |    |    |    |     |      |  |

Figura 2.6. Ejemplo del documento Hoja de Análisis de Tiempos.



**Técnico MDT** Casilla consignada por el técnico de Métodos de Trabajo que realiza las mediciones y cálculos. Sólo estos técnicos están autorizados a realizar cronometrajes sobre las tareas en las que dividan la operación.

A continuación, en el recuadro inferior, se incluyen los resultados de las mediciones y cálculos realizados:

**Nº de elemento** Identifica el medio o medios que realizan la operación estudiada por su nombre (Fabricante y/o modelo) y matrícula. Se suelen enumerar en un orden similar al orden de realización por parte del operario, empezando por las actividades cíclicas y ordenando después de mayor a menor frecuencia a las actividades frecuenciales.

**Denominación** Una explicación breve que permita la identificación unívoca del elemento en cuestión.

**Naturaleza** Indica el tipo de tiempo de entre aquellos ya descritos en el apartado 2.6 y que puedan formar parte del Tmo. Es decir, se indicará cual entre los siguientes es el tiempo cronometrado: TM, Tma, Tmq o Tf.

**Tiempo normal** Calculado por el técnico de tiempos mediante cronometraje o métodos analíticos (estos sólo de manera provisional hasta el cronometraje). Se expresa en centésimas de minuto.



|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Nº de piezas</b> | Indica la periodicidad del elemento.  |
| <b>Actividad</b>    | Coeficiente asignado por el técnico de tiempos (según el método incluido en la norma interna de RENAULT, <i>Méthode de détermination des temps</i> ), para mayorar los tiempos de cada tarea. En la columna siguiente se obtienen dichos tiempos. |
| <b>K</b>            | Coeficientes de los suplementos por descanso. Estos suplementos son asignados por el técnico de MDT (columnas NP, F, ED, EE, EM, MT, VM, VL, CA) y se obtienen de las tablas incluidas en la misma norma.   |

Con todos estos datos completados o, en su caso, calculados, se obtienen los 'datos resumen línea LIF', es decir, los datos relativos a esta operación que deben utilizarse en dicho documento para obtener las cargas de operario.