UNIVERSIDAD DE SEVILLA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS

GESTIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN UNA FÁBRICA DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE SILLERÍA

PROYECTO FINAL DE CARRERA
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL Y GESTIÓN DE EMPRESAS

Dirigido por:
DR. D. JOSÉ MANUEL FRAMIÑÁN TORRES

Autor:
JESÚS NARBONA FERNÁNDEZ

Sevilla, Junio de 2007

Índice General

Índice General 2

Índice de figuras 4

Índice de tablas 5

Capítulo 0: Introducción 6

0.1- Objeto del proyecto 6

0.2- Motivación 6

Capítulo 1: Descripción de la fábrica 8

1.1- Descripción del grupo de empresas 8

1.2- Descripción de la fábrica de estructuras metálicas de sillería 9

1.2.1- Materia prima 13
1.2.2- Corte 13
1.2.2.1- Programación de trabajos en el corte 15
1.2.3- Curvado 17
1.2.3.1- Programación de trabajos en el curvado 18
1.2.4- Prensado y taladrado 20
1.2.4.1- Programación de trabajos en el grupo de prensas 21
1.2.5- Soldadura Robots 22
1.2.5.1- Programación de los trabajos en los robots 25
1.2.6- Soldadura manual 28
1.2.6.1- Programación de los trabajos en la soldadura manual 29
1.2.7- Pulido 30
1.2.7.1- Programación de los trabajos de pulido 31
1.2.8- Cromado 32
1.2.8.1- Programación de los trabajos en el cromado 33
1.2.9- Inyección de espuma 34
1.2.9.1- Programación de los trabajos de inyección de espuma 34
1.2.10- Pintado 35
1.2.10.1- Programación de los trabajos en pintura 36
1.2.11- Embalaje 38
1.2.11.1- Programación de los trabajos de embalaje 38

1.3- Descripción del proceso de gestión de las órdenes de fabricación 38

1.3.1- Procedimiento de generación de listas de carga a partir de los pedidos 39
1.3.2- Lanzamiento de las órdenes de producción 41

1.4- Distribución en planta de la fábrica 44

Capítulo 2- Metodología y propuestas para la mejora de la producción 48

2.1- Introducción 48

2.2- Identificación de los problemas a resolver 48

2.2.1- Faltas en la lista de carga y roturas de stock 48
2.2.2- Costes de producción 50
2.2.3- Elaboración de las órdenes de producción 50
2.2.3- Información de los procesos 51
2.2.4- Resumen de los problemas y mejoras 51

2.3- Gestión del stock de producto terminado 52

2.4- Reseña teórica sobre la Tecnología de Producción Optimizada y aplicación a la fábrica de estructuras metálicas ____ 54
2.4.1- Teoría de las restricciones (TOC) ____ 54
2.4.1.1- Paso 1: Identificar las restricciones del sistema ____ 55
2.4.1.2- Paso 2: Explotar las restricciones del sistema ____ 56
2.4.1.3- Paso 3: Subordinar todo a la restricción anterior ____ 57
2.4.1.4- Paso 4: Elevar las restricciones del sistema ____ 58
2.4.1.5- Paso 5: Si en las etapas previas se elimina una restricción, volver al paso 1 ____ 58
2.4.2- Gestión de la producción con Tecnología de la Producción Optimizada ____ 59
2.4.3- Programación con el sistema DBR ____ 60
2.4.3.1- Aplicación DBR a la fábrica de estructuras metálicas ____ 61

Capítulo 3- Optimización de las órdenes de producción en los robots de soldadura ____ 64

3.1- Introducción ____ 64

3.2- Identificación del problema en cuestión ____ 64
3.2.1- Concepto de referencia ____ 65
3.2.2- Conceptos de trabajo y tiempo de proceso ____ 65
3.2.3- Concepto de carga ____ 65
3.2.4- Conceptos de máquinas y capacidad ____ 66
3.2.5- Conceptos de lote y restricción en los tiempos de procesos en el lote ____ 67
3.2.6- Concepto de tiempos de set-up ____ 71
3.2.7- Criterio de optimización ____ 71

3.3- Modelo matemático ____ 74

3.4- Algoritmo de resolución: pseudocódigo ____ 76
3.4.1- Aplicación del recocido simulado (SA) al problema de los robots ____ 78

Capítulo 4- Aplicación informática para la gestión de la producción ____ 81

4.1- Introducción ____ 81

4.2- Diseño de la base de datos ____ 84
4.2.1- Diseño conceptual: modelo Entidad-Relación ____ 85
4.2.2- Diseño lógico y físico de la base de datos ____ 87

4.3- Diseño y descripción de la aplicación informática ____ 88
4.3.1- Menú principal ____ 90
4.3.2- Módulo Gestión de la Base de Datos ____ 90
4.3.2.1- Alta de Producto Final ____ 90
4.3.2.2- Modificación de un producto ____ 95
4.3.3- Módulo Órdenes de Producción ____ 97

Capítulo 5- Conclusiones y futuras líneas de trabajo ____ 102

5.1- Conclusiones ____ 102

5.2- Futuras líneas de trabajo ____ 103

BIBLIOGRAFÍA ____ 104

Índice de figuras

Figura 1: Línea de procesos de la fábrica. 11
Figura 2: Diagrama de flujos de la fábrica. 12
Figura 3: Fotografía del almacén de tubo. 13
Figura 4: Fotografía de la máquina de corte. 15
Figura 5: Fotografía del almacén de piezas cortadas. 17
Figura 6: Fotografía de las máquinas de curvado. 18
Figura 7: Fotografías del almacén de piezas curvadas. 20
Figura 8: Fotografía de dos prensas mecánicas. 21
Figura 9: Esquema de un robot de soldadura. 23
Figura 10: Fotografía de un robot de soldadura. 25
Figura 11: Fotografía de un puesto de soldadura manual. 29
Figura 12: Fotografía de la cabina de pulido 31
Figura 13: Fotografía de las instalaciones de cromado 32
Figura 14: Fotografía de la salida de una carga de cromado (brazos). 34
Figura 15: Esquema en planta del túnel de pintura 36
Figura 16: Esquema del proceso de las órdenes de producción 41
Figura 17: Modelo de las estadísticas de ventas 2006 43
Figura 18: Tipos de sistemas de producción por su distribución en planta. 46
Figura 19: Layout de la fábrica de estructuras metálicas. 47
Figura 20: Esquema de la metodología TOC aplicada a este proyecto. 59
Figura 21: Diagrama simplificado de procesos según su relación con el cuello de botella 63
Figura 22: Ejemplo de tiempos de proceso sin repaso externo 69
Figura 23: Ejemplo de tiempos de proceso con repaso externo 70
Figura 24: Diagrama ejemplo de secuenciación de trabajos en los robots 73
Figura 25: Diagrama de flujos general del recocido simulado 78
Figura 26: Esquema de los lenguajes utilizados 83
Figura 27: Modelo Entidad/Relación para la base de datos a desarrollar 87
Figura 28: Pantalla del menú principal de ProSS 90
Figura 29: Pantalla inicial del alta de un producto final 92
Figura 30: Pantalla para insertar una pieza 93
Figura 31: Pantalla para insertar los procesos de cada pieza 94
Figura 32: Pantalla de confirmación de una pieza 95
Figura 33: Pantalla para la modificación de un producto 96
Figura 34: Pantalla para modificar las piezas y procesos de un producto 97
Figura 35: Pantalla para añadir referencias y cantidades al listado de producción 98
Figura 36: Pantalla de un listado de producción ejemplo 100
Figura 37: Pantalla de un listado de control ejemplo 101

Índice de tablas

Tabla 1: Tipos de estructuras *9*
Tabla 2: Resumen de problemas y mejoras *51*
Tabla 3: Resumen de las medidas propuestas *53*

Capítulo 0: Introducción

0.1- Objeto del proyecto

El objetivo de este proyecto fin de carrera es el de analizar y dar propuestas de mejora en la producción de estructuras metálicas de sillas, dentro de un grupo de empresas de mobiliario de oficina situada en el término municipal de Dos Hermanas (Sevilla). Se pretende analizar y plantear mejoras por dos vías: por un lado y como vía principal, optimizando el proceso de programación de las órdenes de producción desde el punto de vista de los costes y tiempos de producción, mediante la secuenciación de los trabajos en máquinas; por otro lado, se ofrecen herramientas de apoyo a la gestión y control de la producción.

En los últimos años el grupo de empresas ha realizado una reestructuración del sistema productivo en la fabricación de sillería, dando lugar a dos naves diferenciadas. La actividad para la producción de las estructuras metálicas de las sillas en la fábrica de estudio parte de la materia prima de tubos y distintos materiales de acero, dando como producto final la estructura de la silla en acabado cromado o pintado. De esta forma, se abastece a otra sección del grupo de empresas que se encarga de tapizar, montar y finalizar las sillas listas para su distribución a los clientes. Esta última sección no es objeto de estudio en el proyecto, ya que funcionan bajo direcciones de producción distintas y en cierta medida se puede considerar como empresa cliente de la fábrica de estructuras metálicas.

0.2- Motivación

Desde la reestructuración de la fabricación de sillería comentada anteriormente, en esta fábrica de estructuras metálicas se vienen estudiando y realizando diferentes proyectos encaminados a la mejora de la productividad global, principalmente reduciendo recursos. Las exigencias en cuanto a

calidad, servicio y plazo de entrega a los clientes (4 días desde el momento en que se aprueba el pedido dentro de la ruta logística), marcan los diferentes problemas que existen a la hora de conseguir el objetivo de mejora. El principal problema es que existen dificultades en el abastecimiento a la fábrica de montaje: la gran variedad de referencias en catálogo, roturas de stocks, faltas en las fechas de entrega, reducción de la calidad o cambios en la planificación que todo esto provoca, son algunos de los ejemplos que generan dichas dificultades.

La necesidad de reducir los costes de producción de las estructuras, así como la de mejorar las estadísticas de abastecimiento a la sección de montaje en cuanto a fechas de entrega y roturas de stocks, motivan la realización de este trabajo.

Capítulo 1: Descripción de la fábrica

1.1- Descripción del grupo de empresas

El proyecto se realiza en el marco de un grupo andaluz de empresas dedicado a la fabricación de mobiliario de oficina. En 1982 este grupo fundó la primera de sus divisiones para la fabricación de mobiliario de melamina. Un año más tarde se añade la división para la fabricación de sillería de oficina. Finalmente en 1992 se constituyó otra sociedad para fabricar muebles de dirección barnizados. En la actualidad, también se está diversificando la producción al poner en el mercado una gama de muebles metálicos y entrar en el mercado de mobiliario geriátrico.

A continuación se indican algunos datos que muestran el alcance del proyecto y la envergadura del grupo de empresas bajo estudio. Este grupo cuenta actualmente con unas instalaciones de 60.000 metros cuadrados en las que trabajan 400 personas. Cuenta con una alta inversión en instalaciones tecnológicas para la fabricación de mobiliario de oficina: robots de soldadura, línea de pintura de 150 m de longitud, máquina canteadora de 4 lados con carga y descarga automática, paneladora de piezas de chapa, punzonadora de chapa de hasta 8 mm de espesor, instalación automática de níquel-cromo, línea de planos de barnizado a rodillos, etc. La facturación en el año 2006 fue de 42 millones de euros, se vendieron más de 250.000 sillas y 100.000 puestos de trabajo de oficina. El grupo se encuentra entre las 4 mayores empresas de mobiliario de oficina de España, siendo líder en Andalucía y exportando a países como Francia, Portugal o Bélgica.

1.2- Descripción de la fábrica de estructuras metálicas de sillería

En este apartado se describen los distintos procesos que tienen lugar en la división de estructuras metálicas de la fábrica bajo estudio, para así tener una visión de la problemática a la que nos enfrentamos. La función de esta división es la de fabricar la parte metálica de aquellos modelos de sillas que tienen una estructura tubular de acero.

Esta estructura puede tener diferentes configuraciones según el modelo de silla. Hay sillas operativas, cuya estructura puede ser el conjunto de la silla con patas, brazos, cogida del asiento y del respaldo. Una silla cisne tiene una base tubular de una pieza que hace de pata y asiento. Existen estructuras de chasis que posteriormente se inyectan con espuma formando el asiento, respaldo, o el conjunto de un sillón. También se fabrican brazos independientes que posteriormente se ensamblan a una silla giratoria. En la Tabla 1 se muestra un esquema de los principales tipos de estructuras que se fabrican, los componentes más característicos de cada uno y unos ejemplos entre la gran variedad de componentes comunes. El número de referencias de productos finales supera los 200, y el número de procesos registrados en los manuales de calidad y procesos de la empresa es de más de 1000 (teniendo en cuenta las compatibilidades entre diferentes referencias y piezas). Estos números dan una idea de la complejidad de los flujos de proceso y de la planificación y control de la producción.

Tabla 1: Tipos de estructuras

Tipo de estructura	Descripción	Ejemplos de componentes
Sillas Fijas	Estructura con 4 patas	respaldo, patas traseras, patas delanteras,…
Sillas Giratorias	Estructura del asiento de la silla para montarla con pistón, ruedas, …	respaldo, maneta, cruceta, casquillo pistón, alojamiento pistón…
Bancadas	Conjunto de sillas auxiliares	Larguero bancada, pletina cogida

	unidas por un larguero al suelo	silla,…
Sillas Cisne	Base tubular de una pieza que hace de patas y asiento	base cisne,…
Sillas Patín	Base tubular de una pieza que hace de patas y brazos	base patín,…
Chasis	Estructura chasis para ser inyectada en espuma	tubo cerrado,…
Brazos	Estructuras de brazos para ser montados con sillas giratorias	pletina cogida asiento,…
Módulos	Estructuras con asiento de baja altura	comunes
Componentes comunes		palillo (tubo sin curvar), pletina trasera, pletina delantera, pletinas laterales, pletina asiento, , refuerzo, varilla, chapa, casquillo, perno, etc.

El proceso simplificado de fabricación de las sillas parte de la compra de tubos, pletinas y diferentes materiales de acero. Los tubos se cortan según las medidas que correspondan a cada pieza, y pasan a curvarse igualmente según las medidas y el tipo de curvas de la pieza. De igual manera, las pletinas y otras piezas se cortan, punzonan y conforman en diferentes cizallas y prensas. El siguiente paso es el de soldar el conjunto de piezas formando un modelo de estructura. También se realizan procesos de taladrado y roscado antes o después de la soldadura. Finalmente se le da un acabado a la estructura, ya sea cromado, pintado o en sin acabado para el caso de los chasis. En el caso de las estructuras cromadas necesitan un paso previo de pulido, y en el caso de pintadas necesitan un paso posterior de embalaje.

Los flujos de material entre los diferentes procesos son muy variados, ya que existen numerosas posibilidades requeridas según el modelo. Sin embargo, se puede hacer un patrón o línea de procesos seguido por un amplio número de estructuras a fabricar y que se representa en la Figura 1.

Figura 1: Línea de procesos de la fábrica.

En la Figura 2 se muestra de una manera más detallada todos los procesos, indicando las diferentes posibilidades de las líneas de flujo y almacenes intermedios que existen en esta fábrica.

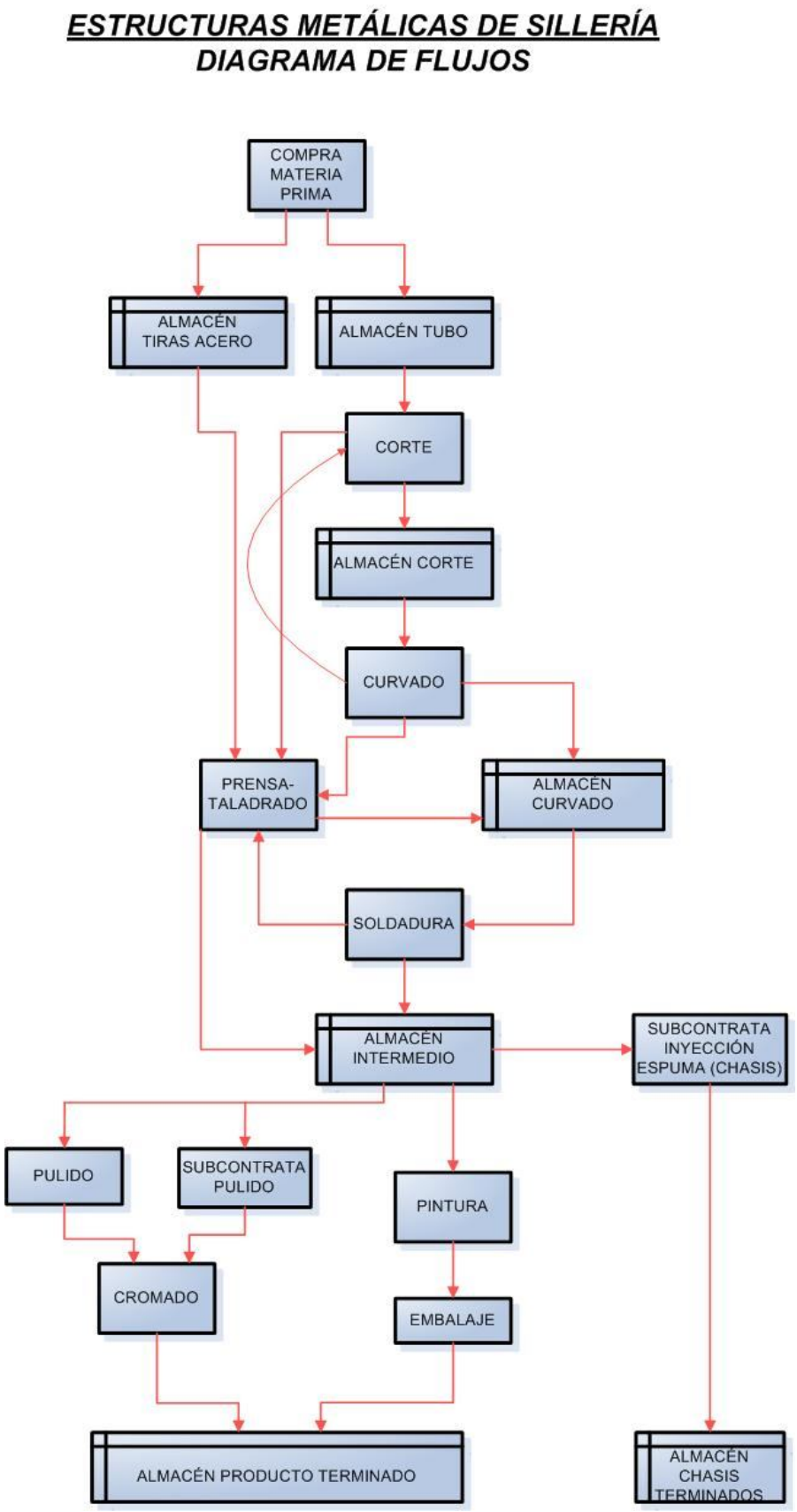


Figura 2: Diagrama de flujos de la fábrica.

En los siguientes apartados, se describe en detalle cada uno de los tipos de procesos que tienen lugar en la fábrica.

1.2.1- Materia prima

En primer lugar se compra tubo de diferentes características. Existen diámetros desde 14 hasta 60 mm, espesores de 1.5 a 2.5 mm, así como tubos de sección circular, ovalada, elíptica o rectangular. Algunos de estos tubos se diferencian por su acabado final ya sean para ser cromados o pintados (diferente lubricación). La longitud de los tubos es aproximadamente de 6 metros y vienen del proveedor en paquetes de entre 100 a 250 tubos cada uno. Estos paquetes, al llegar el camión del proveedor, se almacenan mediante un puente grúa en unas estanterías de gran tonelaje diseñadas para tal efecto. Los paquetes se ubican en las estanterías según medidas y disponibilidad de espacio.

Figura 3: Fotografía del almacén de tubo.

1.2.2- Corte

El primer proceso de fabricación es el de cortar el tubo. Para ello se dispone de una maquina cortadora automática y otra manual. Mediante el citado puente grúa se depositan los paquetes de tubos en la cortadora automática y se programa para que corte los tubos a la medida correspondiente a la pieza que queremos fabricar, estas medidas van desde los 200 mm para los palillos o brazos, hasta los 4000 mm para las estructuras mas complejas. De un mismo tubo se pueden sacar dos tipos de piezas con medidas distintas de manera que se quede el menor retal sobrante. Este retal se tira en la mayoría de los casos aunque también puede utilizarse para diferentes casquillos y otras piezas. El tubo cortado va cayendo en unos caballetes de transporte apilables que se almacenan en una zona habilitada para ello, zona de almacén de tubo cortado. Esta máquina se encarga de suministrar la gran mayoría del material de tubo a las siguientes etapas del proceso. Se dispone de 30 caballetes ampliable con otras formas de almacenaje. Además, el operario encargado de esta máquina utiliza una cortadora manual para ir cortando aquellas piezas que no pueden fabricarse en la cortadora automática o de aquellas que se hace una tirada corta.

En esta primera etapa, las piezas quedan identificadas unívocamente por su espesor, diámetro y longitud, a excepción de piezas que tienen 'mano' derecha o izquierda. Las piezas que tienen mano son aquellas que en sus primeros procesos son iguales pero que en algún momento se les realiza un proceso que las diferencia una de otra. Imagine una pata delantera (curva) derecha de una silla que lleva un taladro sólo en la parte frontal, la pata delantera izquierda de esa silla tendrá la misma longitud de corte y el mismo proceso de curvado, sin embargo a la hora de taladrarlas deben hacerse el taladro por caras distintas del tubo para que al soldar las patas a la silla ambos taladros queden en la parte frontal. Igualmente, como ya se ha comentado anteriormente, una misma pieza puede utilizarse para diferentes modelos de sillas.

Figura 4: Fotografía de la máquina de corte.

1.2.2.1- Programación de trabajos en el corte

La programación o secuenciación de los trabajos a realizar en la máquina de corte automático se realiza de acuerdo a dos criterios fundamentalmente: optimización de los cambios de tubo y optimización de la materia prima.

- Optimización de los cambios de tubo. En la operación de corte automático se consideran los siguientes tiempos:
  - Tiempo de carga: tiempo que tarda el puente grúa en coger un paquete de tubo del almacén y depositarlo en la zona de carga de la máquina.
  - Tiempo de ajuste: tiempo requerido para ajustar los parámetros de corte (velocidad de giro, velocidad de avance de corte y otros)
  - Tiempo de proceso: tiempo requerido por la máquina para cortar las unidades programadas (normalmente hasta terminar el paquete de tubos) una vez comienza el proceso de corte de la primera pieza.
  - Tiempo de descarga: tiempo requerido para retirar un paquete de tubo de la máquina en caso de que no se haya terminado dicho paquete y se decida cortar otro tipo de tubo.

La suma de los tiempos de carga y ajuste forman el tiempo de set-up de la máquina y está fijado en una media de 20 minutos. En caso de existir tiempo de descarga, el tiempo de set-up aumenta en 10 minutos. Pues bien, una vez se tiene el conjunto de referencias que se tienen que cortar (normalmente con un horizonte de tiempo de 1 ó 2 semanas según el volumen de trabajo de la orden de producción), éstas se agrupan por tipo de tubo con el fin lógico de minimizar los tiempos de set-up. De manera que una vez que se tiene un tipo de tubo cargado en la máquina se intente terminar dicho paquete bien con un solo modelo de pieza o con varios modelos de pieza que utilicen el mismo tubo. Por lo tanto, la optimización de los cambios de tubo se traduce en minimizar el número de veces que ha que cambiar el paquete de tubo a emplear para cumplir con el total de piezas a fabricar de la orden de producción en curso.

- Optimización de la materia prima. Además, se tiene en cuenta las medidas a cortar de cada tipo de tubo para que el retal sobrante de un tubo (vimos que de aproximadamente 6 metros cada uno) sea el menor posible y el desperdicio de materia prima sea menos costoso. Los retales pequeños también se pueden reutilizar para diferentes casquillos o para otras piezas de corte manual. De esta forma, la optimización de la materia prima se traduce en minimizar el retal sobrante de cada unidad de tubo cortado.

Como ejemplo, si el siguiente tubo a cortar es el de 20 mm de diámetro por 1.5 mm de espesor para acabado cromo y cuya longitud de de 6.0 metros, existen numerosas opciones de programar el trabajo de corte. Normalmente la entrada de este tipo de tubo viene dado por la prioridad de una determinada pieza, si esta pieza mide 436 mm, se puede programar la máquina para que corte un número de piezas ‘n’ de este tipo y que entre en los 6 metros de tubo(hasta [6000 / 436] = 13 piezas en este caso). El retal sobrante se intenta ajustar para que pueda entrar otra pieza que se tiene previsto cortar con el mismo tipo de tubo. También se tiene en cuenta el número de piezas que hay que fabricar (lote) y el número de tubos que tiene

el paquete para ajustar la cantidad 'n', sacando mayor número de piezas de otra referencia si es conveniente. Incluso se suelen cortar piezas que no están en orden de fabricación si el aprovechamiento del retal de tubo así lo sugiere, quedando esta pieza almacenada para posteriores órdenes. Todas estas decisiones las toma el responsable de producción en función de los criterios vistos y de la prioridad o urgencia de cada pieza

Figura 5: Fotografía del almacén de piezas cortadas.

1.2.3- Curvado

El siguiente proceso que tiene lugar es el de curvado de las piezas cortadas. Para ello se dispone de dos máquinas curvadoras que trabajan de la siguiente forma:

- A las máquinas curvadoras llegan los caballetes con material cortado como material de entrada.
- En cada máquina trabaja un operario que introduce cada tubo manualmente en el cabezal o pinza de la máquina
- Una vez que la máquina realiza las operaciones de curvado sobre la pieza el operario recoge dicha pieza y la va colocando en una canasta de transporte (de aproximadamente 1,2 metros cúbicos de capacidad)

- Al terminar el lote de piezas necesario, el material de salida (piezas curvadas) se transporta hasta el almacén mediante canastas.

Las dos máquinas existentes son similares pero con posibilidades distintas, es decir, existen limitaciones a la hora de curvar piezas en una u otra máquina. Estas limitaciones se están reduciendo con la compra de nuevos utillajes. Las canastas con el material curvado se apilan y almacenan en la zona correspondiente a material intermedio curvado. Tanto para acercar el material cortado de entrada en las curvadoras como para almacenar el material de salida ya curvado, es necesario el uso de una carretilla.

Figura 6: Fotografía de las máquinas de curvado.

1.2.3.1- Programación de trabajos en el curvado

La programación de los trabajos en las máquinas de curvado se realiza de una manera similar al proceso de corte, con la salvedad de que el criterio de optimización de la materia prima no tiene sentido aplicarse en este caso. El criterio que se sigue a la hora de programar los trabajos en máquina es el de minimizar los tiempos de set-up, y este tiempo depende, al igual que en el corte, del tipo de tubo (espesor, diámetros o medidas). En este caso, el tiempo de set-up es empleado en realizar los cambios de utillaje de la máquina:

- Cambio de pinzas: parte de la máquina que aprisiona y fija el tubo antes de realizarle una curva.
- Cambio matrices: elementos circulares con un radio fijo sobre las que el tubo se apoya para adoptar la curva.
- Mandriles: pieza de metal, de forma cilíndrica, que se introduce dentro del tubo para asegurar la deformación correcta en el proceso de curvado.
- Otros.

El tiempo de cambio varía en función de la similitud o no del nuevo tubo a curvar. Por ejemplo, si se está curvando un tubo redondo de 16mm de diámetro por 1.5mm de espesor, el cambio a un tubo redondo de 16x2 será más rápido que el cambio a un tubo de 38x22x2 elíptico. En el primer caso tan sólo habría que cambiar de mandril, mientras que en el segundo habría que cambiar el conjunto completo de utillajes. Dependiendo de estos factores, de la habilidad del operario y de otros factores aleatorios, el tiempo de set-up puede variar entre 20 y 90 minutos.

Por lo tanto, una vez se han desglosado de la correspondiente orden de fabricación todas las piezas que tienen un proceso de curvado en estas máquinas, se agrupan por tipo de tubo y se programan según los criterios explicados y la prioridad de cada pieza.

Figura 7: Fotografías del almacén de piezas curvadas.

1.2.4- Prensado y taladrado

El siguiente paso a explicar es el prensado y taladrado de piezas preparándolas para la soldadura de cada modelo de silla.

Por un lado, a muchas de las piezas tubulares se les realiza diferentes procesos de conformado, curvado, punzonado, aplastado, taladrado..., según lo requiera el diseño de la pieza.

Por otro lado, la estructura de una silla necesita diversas piezas constituidas a partir de tiras de acero o pletinas que vienen de proveedor, su función suele ser de refuerzo o unión. Estas tiras y pletinas se cortan, punzonan y conforman en este grupo de proceso.

Se dispone de una serie de prensas mecánicas (tres en estos momentos) y de una cizalla. Además se dispone de un amplio número de prensas hidráulicas o máquinas a medida, diseñadas y construidas por el departamento de Matricería de la empresa, que realizan tareas concretas de mecanizados, curvados, aplastados, taladrados, etc.

Como vimos en las Figuras 1 y 2, a este grupo de prensas y taladros la mayoría de las piezas suelen llegar después del proceso de curvado, pero también existen piezas que se conforman después del corte, directamente del proveedor o después de soldada la estructura (normalmente el taladrado).

A la hora de realizar cada trabajo, las piezas tubulares se colocan en las mismas canastas que salieron de las máquinas de curvado. Las pletinas de acero se colocan en canastas más pequeñas (véase canasta azul en la Figura 8), y se apilan en una zona habilitada para ello. Por último hay numeroso material que llega directamente de proveedores y se almacenan sin llevar ningún proceso de conformado (esta listo para abastecer a soldadura).

Figura 8: Fotografía de dos prensas mecánicas.

1.2.4.1- Programación de trabajos en el grupo de prensas

En este caso, debemos diferenciar entre las piezas tubulares y las pletinas de acero:

- Las piezas tubulares se conforman en lotes de igual número de piezas que en el proceso anterior de curvado. Estas piezas se procesan normalmente a medida que salen del curvado, aunque con un margen de tiempo (almacén intermedio de amortiguación) según las necesidades de

trabajo de las prensas. Además, la mayoría de las estructuras llevan paso de taladrado, éste paso se realiza a medida que salen de soldadura o a medida que se requiere para de pulir-cromar o pintar la estructura (en función de la carga de trabajo y disponibilidad de personal para taladrar).

- Las piezas constituidas a partir de tiras y pletinas de acero se procesan en lotes grandes (mayores a las necesarias para abastecer la orden de soldadura en curso), ya que el tiempo de proceso unitario de cada pieza es muy pequeño, al igual que su tamaño a la hora de almacenarlas.

De esta forma, al jefe de equipo del grupo de prensas se le entrega la misma orden de fabricación de soldadura, éste debe comprobar de qué piezas se dispone en el almacén intermedio y qué piezas faltan por procesar. Igualmente, el jefe de equipo debe tener en cuenta cuál es la carga de trabajo que le corresponderá en función de las piezas que salgan de curvado y lleven paso de prensa. Actualmente se dispone de entre dos y cuatro operarios para realizar los trabajos de prensa y taladro. El número total de procesos registrados entre prensa mecánica, hidráulica y taladro es de más de 260, dividiéndose muchos de estos en otros subprocesos. Los cambios de set-up están fijados en 40 minutos para las prensas y en 10 minutos para el taladrado. Con todas estas consideraciones y en base a la experiencia para optimizar recursos, el jefe de equipo va programando los trabajos con el requisito último de abastecer correctamente al proceso de soldadura (caso de pletinas, casquillos, palillos, etc.) o al proceso de cromo-pintura (caso de taladrado de estructuras ya soldadas).

1.2.5- Soldadura Robots

Una vez que se tienen todas las piezas de un modelo de producto cortadas, curvadas y conformadas debidamente, se procede a la soldadura de dichas piezas formando el conjunto de la estructura (silla, chasis, brazo,…). Para este proceso se dispone actualmente de tres robots de soldadura (además de los puestos de soldadura manual que se explican en el apartado siguiente).

Seguidamente se explica la forma de trabajo en los robots con ayuda de la Figura 9, donde se representa un esquema de la vista en planta de la zona de trabajo de un robot.

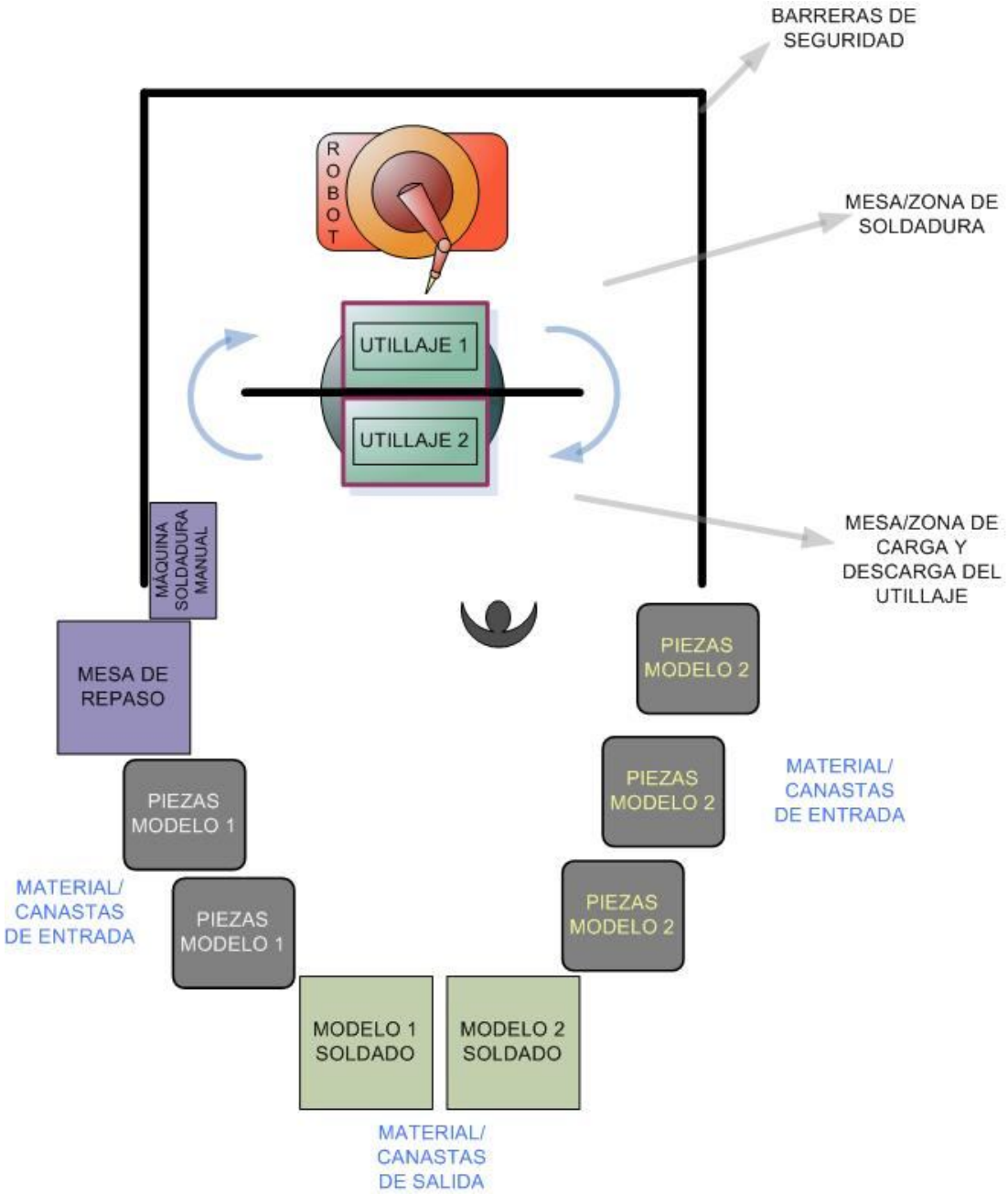


Figura 9: Esquema de un robot de soldadura.

Como puede verse en el esquema, se dispone de una zona en la que se disponen las canastas con el diferente material necesario para soldar las sillas y con las estructuras terminadas (Material de Entrada y Salida). El operario coge las piezas de las canastas de entrada y coloca las estructuras en las canastas de salida a medida que van terminándose. Además, se dispone de una máquina de soldadura manual y una mesa de repaso en la que el operario realiza la tarea de repaso de las estructuras. Esta tarea es necesaria realizarla para dar por finalizada la soldadura de la estructura. El repaso consiste en revisar que las soldaduras sean correctas, dar "puntadas" de soldadura manual cuando sea necesario y repasar con una amoladora radial las soldaduras visibles y las proyecciones que desprende el proceso de soldadura por arco eléctrico con aporte de material.

Las barreras de seguridad delimitan la zona propia del robot y de las mesas de trabajo. Cada robot dispone de dos mesas de trabajo colocadas una a la espalda de la otra y separadas por un panel vertical de seguridad. Las dos mesas en su conjunto giran horizontalmente 180 grados, de manera que por un lado el robot esta soldando (en el instante representado en la Figura 9 sería el caso de la mesa con el utillaje 1) y por el otro el operario esta montando y desmontando las estructuras en el correspondiente utillaje (utillaje 2 en la Figura 9). Cada utillaje es un bloque que se trasporta con la carretilla y se atornilla y fija a un eje dispuesto en cada mesa de trabajo. Según la estructura de la silla cada utillaje tiene de 2 a 8 unidades aunque algunas estructuras simples (por ejemplo brazos) pueden llegar a 16 unidades en un mismo utillaje. Actualmente se dispone de 3 robots o, lo que es lo mismo, de 6 mesas para utillajes distintos.

Ahora se puede explicar el funcionamiento actual en el proceso de soldadura en los robots. Para que las mesas giren los 180 grados el operario debe pulsar el botón correspondiente situado a la entrada de la zona de carga/descarga del utillaje. En el momento en el que terminan de girar el robot de soldadura se pone en funcionamiento y comienza a soldar las estructuras del utillaje 1.

Al mismo tiempo, el operario descarga las estructuras soldadas del utillaje 2 y carga de nuevo los utillajes con piezas nuevas. Seguidamente el operario repasa las estructuras que ha descargado y, al terminarlas y colocarlas en la canasta de salida, vuelve a pulsar el botón para que giren las mesas (a no ser que el robot aún no haya terminado de soldar, en cuyo caso tiene que esperarlo). En ese momento el robot comienza a soldar las estructuras del utillaje 2. El tiempo en cargar-descargar-repasar, al igual que el tiempo de soldadura, varían en función del número de puntos de soldadura y la complejidad de la estructura. Estos tiempos van de 2 a 8 minutos aproximadamente.

Figura 10: Fotografía de un robot de soldadura.

1.2.5.1- Programación de los trabajos en los robots

La programación de los trabajos en los robots se realiza en base a tres criterios principales: prioridad de las estructuras a soldar, optimización de los tiempos de salida de las estructuras soldadas y optimización de los tiempos de set-up.

- Criterio de prioridad. Actualmente se pasa una orden de fabricación con validez de 1 a 3 semanas en el que se detallan las

referencias y cantidades a fabricar (más adelante se explica los lotes a fabricar y las necesidades de referencias a fabricar). En esta orden no aparece la secuencia (o el orden) en el que se deben realizar los trabajos, de manera que la prioridad o urgencia de fabricación determina el modelo a soldar, siempre y cuando estén terminadas todas las piezas necesarias para soldar dicho modelo. La prioridad viene marcada por los niveles de stocks de producto final o por los pedidos retrasados, de manera que el criterio en el orden de prioridades con el que se suele trabajar es el siguiente:

1º Estructuras con fecha de entrega adjudicada, pendientes de cargar en el camión (ver el concepto lista de carga explicado en el apartado 1.3.1) y de las que no se tienen existencias en el almacén de estructuras terminadas.

2º Estructuras pedidas por clientes sin fecha de entrega adjudicada (ver concepto listado acumulado explicado en el apartado 1.3.2) y de las que no se tienen existencias en el almacén.

3º Estructuras que aún no estando pedidas por clientes, tienen un consumo alto (alto porcentaje de ventas) y se tiene stock cero.

4º Estructuras con un consumo alto y cuyos stocks son muy bajos (próxima rotura de stock).

5º Estructuras con consumo bajo y sin existencias en almacén.

6º Estructuras para reponer niveles de stocks mínimos.

7º Otros criterios.

- Optimización de los tiempos de salida de estructuras soldadas. El factor más determinante en este caso es el de la relación de tiempos entre el utillaje de la mesa 1 y el de la mesa 2. Como se explicó anteriormente, el operario realiza las tareas de carga, descarga y repaso al mismo tiempo que el robot está soldando. A la hora de soldar dos referencias, se pueden dar dos casos en cuanto al la relación de tiempos. La primera es que el operario termine las tareas de carga-descarga-repaso antes de que el robot finalice la soldadura del utillaje contrario, el operario en este caso tiene

que esperar al robot. La segunda, que el operario tarde más tiempo que el robot, en cuyo caso es el robot el que se queda parado esperando. Una consideración importante y corroborada por la experiencia, es que el tiempo de carga-descarga-repaso de un modelo en el utillaje y su tiempo de soldadura son similares. Dicho tiempo es proporcional al número de pletinas y tubos del modelo, a mayor número más tiempo se tarda en montar y más puntos de soldadura lleva. Por lo tanto, una manera rápida e intuitiva de optimizar los tiempos de salida de los robots es colocando los utillajes de manera que tengan los tiempos más parecidos posibles.

- Optimización tiempos de set-up. En este caso el tiempo de set-up es el que se tarda en cambiar el utillaje de una mesa y cambiar las canastas con las piezas necesarias de entrada y salida, ambas operaciones realizadas con la carretilla. Este tiempo está fijado en una media de 25 minutos. Se busca por tanto minimizar los tiempos de set-up, es decir, minimizar las veces que se cambia de modelo de silla a soldar en un robot. A veces este criterio se contrapone al de optimización de los tiempos de salida, ya que para conseguir ajustar mejor los tiempos de un utillaje y otro se necesita realizar más cambios de utillaje, y viceversa.

Por lo tanto, a la hora secuenciar los trabajos en los robots se tienen todas estas consideraciones. Cuando un robot termina de soldar un lote de sillas, el responsable de producción tiene que decidir qué referencia soldar a continuación en la mesa del robot que ha quedado libre. De entre las referencias que tienen todo el material correspondiente terminado para poder soldarlas, y siempre teniendo en cuenta la prioridad de cada una, se intenta que la referencia que entre tenga un tiempo cercano al de la referencia que se encuentra en el utillaje de la mesa contraria a la libre (optimizando tiempos). En muchas ocasiones hay que valorar las diferentes posibilidades, ya que puede ocurrir que una referencia prioritaria tenga un tiempo muy diferente al del robot que queda libre, pudiendo ralentizar mucho el tiempo de uno u otro utillaje y haciendo conveniente el esperar a soldar dicha referencia aún

siendo prioritaria. La probabilidad de que esto ocurra depende de los niveles de stocks finales, y las posibilidades para ajustar los tiempos depende del material intermedio que se disponga a la hora de elegir que referencia sea la siguiente a soldar. Este es uno de los puntos importantes de mejora que se tratará en el capítulo siguiente, ya que aún con la experiencia o visión por parte del responsable de producción, no se consiguen productividades muy altas si no existe una buena planificación y se cambian las previsiones continuamente.

Como datos aclaratorios, los lotes de fabricación actuales en los robots van desde las 100 a las 1000 unidades dependiendo del modelo, de su histórico de ventas y de las previsiones o pedidos en curso. Uno de los robots tiene siempre, salvo en contadas ocasiones, un modelo de silla permanentemente soldándose y sin cambiar de utillaje, ya que es el modelo de mayor venta con diferencia sobre los demás. En la actualidad existen unos 44 utillajes para robots de los modelos de sillas que mayor producción tienen, actualmente se sigue trabajando en la fabricación de nuevos utillajes.

1.2.6- Soldadura manual

Actualmente se dispone de 6 puestos de soldadura manual, con seis equipos de soldadura semiautomática MIG (Metal Inert Gas) y un equipo de soldadura TIG (Tungsten Inert Gas). Estos puestos están compuestos por un banco de soldadura alrededor del cual se disponen las canastas con las piezas necesarias y las estructuras terminadas. Los utillajes simples y que ocupan un volumen reducido se colocan sobre el banco de soldadura. Estos utillajes simples sirven para una gran variedad de piezas que llevan pasos de soldadura sencillos: casquillos, brazos, unión de estructuras cerradas a partir de una sola pieza (véase Figura 11), pletinas, cuñas o chapas de refuerzo, etc. Además, los utillajes de estructuras más complejas tienen patas para colocarlos en el suelo fuera del banco de soldadura, incluso se pueden

habilitar los utillajes de robot para que el operario suelde la estructura manualmente.

Igualmente el material soldado se almacena en canastas en la zona correspondiente según el siguiente proceso que necesite (pulido, taladrado, inyección espuma, pintura).

Figura 11: Fotografía de un puesto de soldadura manual.

1.2.6.1- Programación de los trabajos en la soldadura manual

En la soldadura manual se suelda por lotes según el modelo de silla, chasis, casquillo, brazos, etc. Estos lotes, al igual que en soldadura robot, vienen dados por las estadísticas de ventas, las previsiones o pedidos en curso, así como por los niveles de stock.

El criterio principal a la hora de decidir la siguiente referencia a soldar es el de la prioridad de cada modelo, siempre y cuando se tenga todas las piezas disponibles para soldarlo. En este caso, el tiempo de set-up es el necesario para colocar el utillaje en el puesto correspondiente y acercar las canastas con el material. No existe ningún criterio para optimizar la secuencia de

trabajos en cuanto a los tiempos, ya que cada puesto de soldadura es independiente. El único criterio o restricción es el de la cualificación del soldador, ya que ciertos modelos es conveniente los suelde operarios con l experiencia suficiente.

Por lo tanto, la programación de los trabajos en este proceso se realiza en función de la prioridad y la disponibilidad de piezas. Además, habitualmente un soldador (incluso dos) se dedica a cubrir las "faltas" diarias, que son aquellas referencias que no se disponen en el almacén y que aparecen en pedidos que hay que servir en 3 días. Estas son referencias con muy pocas ventas e incluso descatalogadas, de las que normalmente se tienen piezas almacenadas durante muchos meses para abastecer esos pequeños pedidos (de varias unidades). Esta manera de proceder es una consecuencia más de la gran variedad de referencias existentes en catálogo.

1.2.7- Pulido

Las estructuras soldadas tienen diferentes acabados posibles: cromado o pintado en un color determinado. Las estructuras cromadas necesitan el paso previo de pulido y lijado, necesario para que la superficie quede totalmente lisa y el proceso químico de cromar se realice correctamente y dé una buena calidad de acabado. Este paso se subcontrata en su mayoría a empresa externa, de manera que dos veces por semana se envía y se recibe material. Este procedimiento funciona con el material que se trabaja sobre stock y del que se tiene suficiente tiempo de respuesta. Cada envío consta de entre 50 y 700 unidades aproximadamente. El plazo de entrega de las estructuras ya pulidas es de 2 a 9 días, según la prioridad que se le pida al proveedor.

Para las referencias con las que no se dispone de tiempo para enviarlas al proveedor y que se van puliendo y cromando a medida que salen del proceso de soldadura, se dispone de una cabina de pulidoras con cuatro máquinas de pulir y un puesto de lijado. En esta, un equipo de operarios se dedica a pulir

las estructuras más urgentes y las que no se subcontratan por su complejidad o su poca producción.

Figura 12: Fotografía de la cabina de pulido

1.2.7.1- Programación de los trabajos de pulido

En esta fábrica existe una zona habilitada para almacenar las canastas con el material pendiente de enviar al proveedor de pulido, y otra zona de material llegado del proveedor y pendiente de cromar. Las diferentes estructuras se van enviando a medida que salen de soldadura y en el mismo orden, ya que en estas han sido soldadas por orden de prioridad. Sin embargo puede ocurrir que durante el tiempo que las canastas se encuentran pendientes de enviar al proveedor (entre una y tres semanas), aparezcan nuevos pedidos y cambie la prioridad para el pulido. Normalmente el proveedor de pulido realiza los trabajos de manera que mantiene el orden de llegada de las referencias, es decir, podemos considerar el proceso de pulido del proveedor como un proceso FIFO (First In First Out).

Por lo tanto, el criterio para la programación de los trabajos de pulido es el de prioridad de cada modelo. Para los trabajos de pulido realizados en la cabina de pulido de la propia fábrica, es igualmente válido el criterio de prioridad o urgencia.

1.2.8- Cromado

La silla con acabado cromo se realiza en unas instalaciones de cromado automatizadas. La línea de cromo se compone de un puente grúa que transporta una serie de bastidores y en los que se van colgando cargas de 4 a 16 estructuras (unos 2,5 metros de ancho disponible) y estas van entrando en las diferentes cubas para su procesado químico (lavado, decapado, desengrase químico, desengrase electrolítico, baños de cromo, níquel, enjuague, secado,…). En el proceso continuo se tratan 15 cargas simultáneamente, cada una de ella permanece un tiempo determinado en cada baño y sale una carga terminada cada 7 minutos. De otra manera, al meter una carga en el proceso, esa misma carga tarda 15 x 7 = 105 minutos en salir cromada. Actualmente con un turno de 10 horas y un operario se abastece satisfactoriamente la producción diaria. Las sillas cromadas se van almacenando en las canastas correspondientes y enviando a un almacén (sótano) en una nave contigua, en esta nave se encuentra la fábrica que se encarga de realizar el montaje y tapizado final de la silla.

Figura 13: Fotografía de las instalaciones de cromado

1.2.8.1- Programación de los trabajos en el cromado

La programación de los trabajos en el proceso de cromado se realiza por orden de prioridad, a medida que se tienen las estructuras pulidas y con restricciones de los bastidores para colgar las estructuras. Existen 16 tipos de bastidores distintos y un número total de 200 bastidores aproximadamente, cada tipo de bastidor sirve para un número determinado de estructuras. En estos bastidores o ganchos se cuelgan las estructuras de forma que se cromen correctamente, teniendo en cuenta el desagüe de la pieza y el paso de la corriente entre otros, y de forma que se maximice el número de sillas que caben en una carga. Esta es la única forma de optimizar la producción de cromo, ya que la velocidad de los procesos y de salida de las cargas es constante. De esta manera, cada silla o estructura se tiene que colgar en un tipo de bastidor determinado, el número de bastidores de cada tipo y las sillas que caben en cada carga limita la producción.

Así por ejemplo, supongamos que hay que cromar un lote de 180 sillas de un modelo, se dispone de 10 bastidores para este modelo, en cada carga caben 3 bastidores y en cada uno de ellos se cuelgan 2 sillas (6 sillas por carga). La forma más eficiente es meter todos los bastidores seguidos en las 10 primeras cargas (60 sillas), esperar 105 minutos a que salgan de la línea de cromado los primeros bastidores y volver a colgar sillas en los bastidores que van quedando libres. Como cada 168 minutos (105min+7min x 9) salen 60 sillas, el tiempo total en cromar las 180 (180/60=3) sillas sería de 168 x 3 = 504 minutos. En conclusión, la manera de optimizar el ritmo de salida de un modelo es cargando todos los bastidores disponibles que tengamos para el modelo en cuestión dentro de las primeras 15 cargas (105 minutos) y volver a cargar a medida que salen. En caso de que la prioridad sean 2 o más modelos de sillas, la idea es equivalente metiendo todos los bastidores prioritarios en los primeros 105 minutos. Otra opción que puede ocurrir es que se tengan más de 15 cargas con los bastidores prioritarios al inicio, en este caso hay que ponderar dicha prioridad con el ritmo de salida deseado.

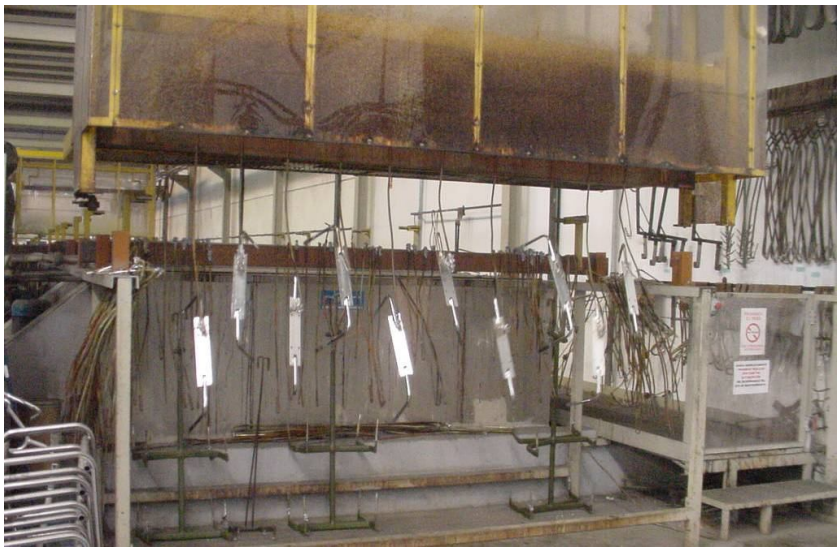


Figura 14: Fotografía de la salida de una carga de cromado (brazos).

1.2.9- Inyección de espuma

El proceso de inyección de espuma se realiza para aquellos modelos de sillas o sillones de dirección que llevan un chasis metálico. Este chasis sirve de estructura sobre el que se inyecta la espuma, todo ello dentro de un molde determinado y dándole el acabado deseado a falta del tapizado. Un chasis puede ser la estructura para un asiento, un respaldo, un asiento y respaldo de una sola pieza (chasis monocasco), e incluso para brazos o cabezales de sillones. Los chasis no necesitan pulido, ni repasado de las soldaduras ni ningún tipo de acabado al ir totalmente cubiertos por espuma.

1.2.9.1- Programación de los trabajos de inyección de espuma

El proceso de inyección de espuma se subcontrata a una empresa externa, de manera que se envían chasis una o dos veces por semana. Esta empresa realiza el inyectado y semanalmente envía los chasis directamente a la nave de montaje final de las sillas. De esta forma existe un almacén intermedio entre los chasis que están a la espera de ser enviados a la subcontrata y los que tiene la propia subcontrata pendientes de inyectar, este almacén intermedio consta de entre 150 y 700 chasis según la carga de trabajo.

Al igual que ocurre con el proveedor de pulido, la subcontrata de chasis realiza los trabajos de manera que mantiene el orden de llegada de las referencias, por lo que nuevamente podemos considerar el proceso de inyección de espuma como un proceso FIFO. Como en anteriores casos, puede ocurrir que la prioridad cambie durante el plazo de entrega de los chasis, pudiendo en ese momento modificar el orden de inyectado para mejorar el tiempo de respuesta según la urgencia de cada modelo.

1.2.10- Pintado

Por último, las sillas y demás estructuras pueden ir en acabado pintado. Para ello se dispone de un túnel de pintura en polvo de 150 metros de cadena, en la que se cuelgan las sillas con diferentes bastidores/ganchos. En el túnel, las piezas pasan por diferentes baños o etapas (véase Figura 15). Primero se desengrasan y enjuagan las estructuras. Seguidamente se fosfatan y vuelven a enjuagar para que la superficie de la estructura tenga las propiedades adecuadas. Luego se secan para eliminar toda el agua que sería perjudicial a la hora del pintado. El siguiente paso es el de pintar la estructura con pistolas y pintura en polvo, ya sea manualmente o con pistolas automatizadas. Finalmente las estructuras pasan por un horno de polimerización donde la pintura en polvo polimeriza, se fija a la estructura y adquiere el acabado final. La velocidad de la cadena es de 1,5 metros por minuto en condiciones normales de producción, pudiéndose variar según las necesidades, con lo que una silla colgada puede estar pintada en 1h 45´ aproximadamente. Actualmente dispone de un equipo de 6-7 personas para el proceso de pintura. El túnel de pintura es un recurso compartido, ya que también se utiliza para pintar armarios metálicos (también fabricados en la misma nave y bajo la misma dirección de producción) así como para pintar numerosas piezas del resto del grupo de empresas (estantes metálicos para armarios de melamina, pletinas, patas y largueros llegados directamente de proveedores, etc.).

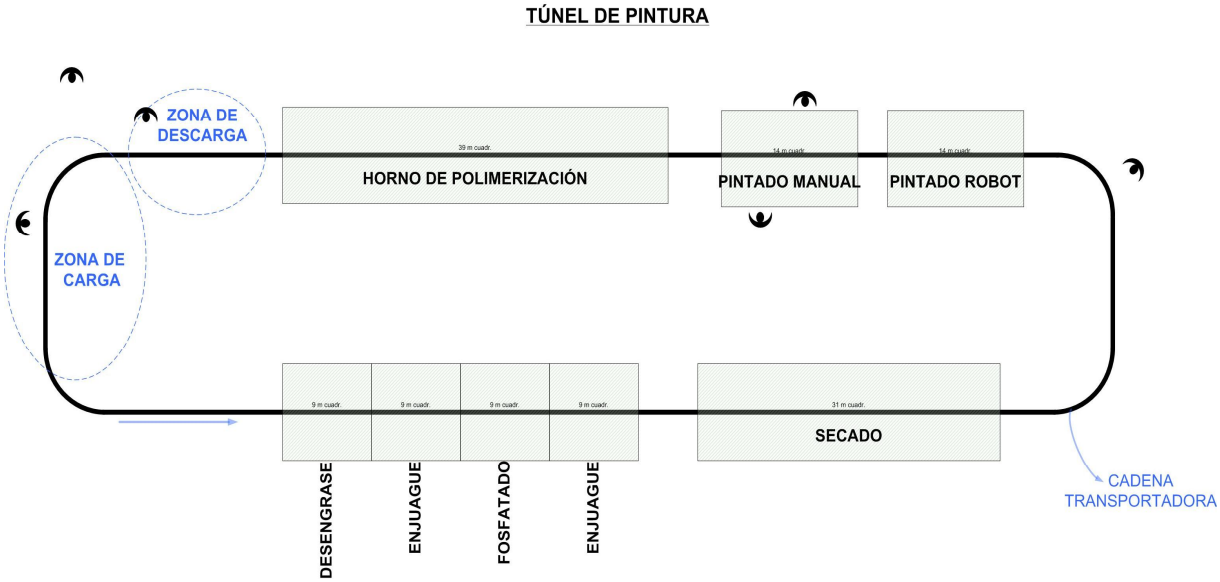


Figura 15: Esquema en planta del túnel de pintura

1.2.10.1- Programación de los trabajos en pintura

Actualmente existen 3 colores para las sillas: negro, gris plata (GP) y gris brillo (monocapa); y otros tantos para armarios y demás piezas (gris claro, antracita, gris oscuro, blanco roto o crema). El tren de pintura dispone de una cabina de pintura automática, en el que unos robots pintan automáticamente las piezas, y de otra cabina para pintura manual en el que dos operarios son los que pintan las piezas. De esta forma un color esta en automático (el color GP es el mas utilizado) y los demás se van cambiando en la cabina manual, en una jornada actual es habitual pintar en 3-4 colores diferentes en manual debido a necesidades de distintas piezas y a la urgencia de muchas de ellas. Los cambios de pintura manual se hacen con la cadena en funcionamiento teniendo que dejar un hueco en la cadena de aproximadamente 10 minutos para cambiar las pistolas de color, mientras que los cambios de pintura en la cabina automática supone una parada de 1 o 1,5 horas (tiempos de set-up). Además, en cuanto a los bastidores para colgar las piezas, existen 11 tipos de bastidores de acero (unos 400 en total) y multitud de ganchos pequeños de alambre. Otro dato ilustrativo es que caben de 4 a 12 sillas/estructuras por bastidor, separadas 1,25 metros aproximadamente entre cada bastidor.

A la hora de optimizar la producción de piezas pintadas, los parámetros con los que se juegan son tres: número de piezas por metro de cadena, velocidad/paradas de cadena y pintura automática o manual. Por un lado, resulta obvio que a mayor número de piezas por metro de cadena, mayor será la producción y el aprovechamiento de la cadena. Así, es importante que las piezas se cuelguen en los bastidores apropiados, de forma que desagüen, se puedan pintar correctamente y que aprovechen al máximo la cadena. Además, la velocidad de la cadena depende de la dificultad de las piezas a pintar (hay que parar la cadena si es muy complicada) y de las distintas incidencia que obligan al operario a para la cadena. Por otro lado, la velocidad de la cadena, y por tanto la productividad, también depende de si se pinta en modo manual o modo automático. Los operarios pintan más lento (dos pistolas) que el robot (10 pistolas) y necesitan descansar el brazo cada cierto tiempo, es decir, tienen que pintar las piezas más separadas entre sí. Por último, los cambios de pintura también influyen sobre la productividad con los tiempos de set-up indicados anteriormente. Como se ha explicado, el hecho de dejar huecos vacíos en la cadena es equivalente a parar la producción. Sin embargo es preferible dejar huecos a parar el movimiento de la cadena, ya que al estar las piezas paradas dentro de un horno o baño se modifican los tiempos que se mantienen en las diferentes etapas del proceso, y esto es perjudicial para la calidad del pintado. Por lo tanto, cuando se cuelgan piezas para pintarlas en un color y las siguientes piezas van en otro color, hay que dejar un hueco vacío de 8 metros aproximadamente, para que los operarios puedan cambiar las pistolas de color sin que la cadena pare. Las paradas de la cadena deben estar reservadas únicamente para incidencias.

La programación de las ordenes de fabricación de la pintura se realiza mediante un parte diario en el que el día anterior se analiza las piezas a pintar, de manera que se optimice la producción con los factores explicados anteriormente y se satisfagan las necesidades de prioridad de todas las piezas a pintar por parte del grupo de empresas. Se estudia la posibilidad de pintar

el mayor número de piezas del color que esté en automático, se intenta que existan la menor variedad posible de colores (dejando para otros días piezas menos urgentes) o se plantea la opción de cambiar de color automático (siempre que se amortice el tiempo de set-up) entre otras alternativas.

1.2.11- Embalaje

Por último, las estructuras pintadas es necesario embalarlas para que no se arañen en su transporte en canastas hasta la nave de tapizado y montaje final. Actualmente hay un operario embalando habitualmente aunque se refuerza en momentos puntuales en los que urge enviar canastas a montaje. El proceso de embalaje consiste en ponerle a las estructuras unas mallas protectoras y tubos de espuma de polietileno en las partes susceptibles de arañazos. El tiempo de embalaje de una silla ronda entre los 2 y 5 minutos.

1.2.11.1- Programación de los trabajos de embalaje

Para el embalaje, el único criterio utilizado es el de prioridad, no existen tiempos de set-up. A medida que las sillas van saliendo de pintura, se colocan en una zona habilitada para ello sin que rocen entre si y manipulándolas con cuidado. Normalmente las sillas se van embalando a medida que salen, pero puede ocurrir que se acumulen sillas sin embalar durante varios días. En ese caso se puede cambiar el orden de embalado según la prioridad.

1.3- Descripción del proceso de gestión de las órdenes de fabricación

1.3.1- Procedimiento de generación de listas de carga a partir de los pedidos

En este apartado se describe el proceso actual utilizado en esta fábrica para gestionar las órdenes de fabricación. Este proceso está ligado al conjunto de fábricas y departamentos que pertenecen al grupo de empresas en estudio.

El proceso empieza cuando un cliente hace un determinado pedido, en este momento el departamento de informatización de pedidos se encarga de meter dicho pedido en el Sistema de Gestión de la Empresa. Con el conjunto de pedidos que se tienen en el sistema se forma lo que se denomina ***cartera*** de pedidos, que son todos los pedidos en firme que aún no tienen una fecha de entrega adjudicada. A partir de esta cartera el Departamento de Logística es el encargado de lanzar los denominados ***listados de carga***. Los listados de carga son listados formados por todos aquellos productos que van a cargar un determinado día, cargándose en los camiones de transporte para ser distribuidos hasta los clientes. La logística es la que determina que día se sirve cada pedido dependiendo de la localización geográfica y de la ruta correspondiente. En este tipo de empresas los costes logísticos son muy altos, y condicionan en gran medida el resto del proceso.

Los listados de carga se limitan por un tope económico, es decir, el conjunto de productos del listado de carga de un día no deben superar un valor en euros determinado. Este tope económico es una manera de poner la restricción de la capacidad de producción que tiene la fábrica, ya que tiene unos recursos limitados. En caso de subir el tope por el aumento de pedidos, consecuentemente se deben aumentar los recursos (personal, turnos,…), y al contrario en caso de bajar el tope económico. Esta cantidad actualmente puede variar entre los 50.000 y los 80.000 euros, y corresponde a la capacidad teórica de fabricación diaria de la fábrica.

Además, otro concepto a tener en cuenta es el de ***días de cartera***, que indica el volumen de pedidos acumulados y pendientes de entrar en listas de carga.

De forma que si el tope económico está en 70.000 euros y el volumen de pedidos pendientes es de 320.000 euros, en ese momento hay 320 / 70 = 4,57 días de cartera. Los días de cartera suelen estar entre los 2 y 8 días. Según lo explicado, si los días aumentan y la tendencia se mantiene, se debe aumentar el tope económico, ya que muchos días de cartera implicaría que los clientes deben esperar demasiado hasta que sus pedidos son servidos. De igual manera, si los días de cartera bajan y la tendencia se mantiene, se deben ajustar los recursos productivos para mantener el equilibrio gastos-ventas.

Los listados de carga los recibe cada departamento de producción diariamente a primera hora de la mañana, indicando así las sillas que cargan en el camión 3 días después. Es decir, si es lunes, se recibe el listado de sillas que cargan el jueves. En la fábrica de estructuras metálicas bajo estudio, las estructuras deben estar en la nave de tapizado y montaje un día antes a la carga (Miércoles), para que la fábrica de montaje tenga tiempo de montarlas. Este listado de carga es revisado diariamente para ver las posibles faltas de sillas que no existen en stock. Es habitual, entre el gran número de referencias, tener algunas faltas diarias. Normalmente se trata de una cantidad pequeña y se tiene material intermedio curvado para soldarlo a mano, cromarlo o pintarlo, y dar respuesta satisfactoriamente. Las faltas más problemáticas son aquellas para las que necesitamos cortar y curvar material, ya que provocan cambios en la programación de la producción y retraso de la fabricación prevista.

Por lo tanto, los listados de carga sirven para evitar faltas o retrasos a clientes, y en este caso, a la fábrica de montaje. Sin embargo, para la planificación de la producción y el lanzamiento de una orden de fabricación, el listado de carga no es una herramienta útil, ya que no se tiene tiempo suficiente de respuesta para fabricar una silla desde el inicio. En la Figura 16 se muestra un esquema del procedimiento explicado, incluyendo el siguiente paso lanzamiento de órdenes de fabricación (explicado en el apartado siguiente).

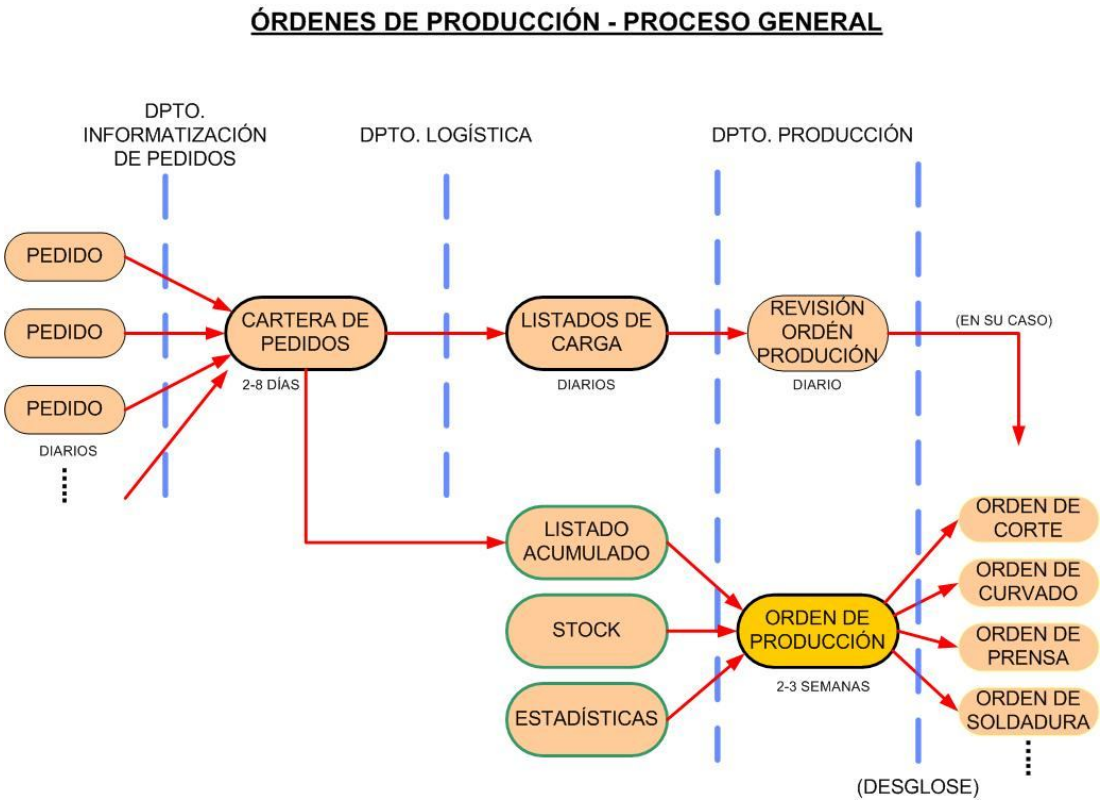


Figura 16: Esquema del proceso de las órdenes de producción

1.3.2- Lanzamiento de las órdenes de producción

Las órdenes de fabricación en la fábrica de estructuras metálicas de sillería, se lanzan con un horizonte de 2 a 3 semanas. Para el lanzamiento de órdenes de fabricación, los factores utilizados para decidir qué referencias fabricar y qué cantidades son: listado de acumulado, estadísticas/historial de ventas y niveles de stock.

- El ***listado acumulado*** es el que representa todos aquellos pedidos que están en cartera y que aún no han entrado en lista de carga, es decir, da una idea clara de los siguientes pedidos que van a entrar en lista de carga aún sin saber el día exacto que entrarán. Dependiendo de los días de cartera, este listado nos dará una visión con mayor o menor horizonte de tiempo. Es importante aclarar que el orden de entrada de pedidos en la cartera, no

coincide con el orden en el que entran en lista de carga. Depende de la situación geográfica del cliente ya que cada día de la semana se tiene definida una zona de reparto sobre las que se asignan las rutas de los camiones, es habitual que un pedido tenga que "esperar su turno" hasta que se asigne un día de carga para la misma zona geográfica. Además, también depende de decisiones comerciales en caso de que haya pedidos de clientes más importantes. Igualmente, los pedidos especiales con un volumen superior a lo habitual, se consultan con cada departamento de producción para garantizar un plazo de entrega.

- Los niveles de stock de todas las referencias son el dato más importante y sobre el que en teoría hay que trabajar, ya que el tiempo de producción o *lead time* de la fábrica de estructuras metálicas es mucho mayor al establecido por las listas de carga (3 días). De esta forma, hay que mantener unos niveles de stock mínimo que abastezcan a la fábrica de montaje 2-3 semanas, para así poder hacer una planificación de producción que equilibre el ahorro por optimización de los recursos y el gasto en inmovilizado de material en stock. Existe un listado de stock de la fábrica de montaje, en adelante stock del sótano, que genera el Sistema de Gestión, en el que se añaden las sillas que el carretillero apunta como enviadas diariamente y del que el sistema resta automáticamente la carga que se distribuye hacia los clientes cada día. Este procedimiento no es fiable al cien por cien, ya que los números que da el sistema no coinciden con los reales del sótano, esto es debido a diferentes causas: fallos en el apunte de cantidades y modelos, envío de canastas por parte de otros operarios, posibles fallos del sistema, descuadre entre la carga y el montaje diario (adelantos y retrasos), sillas defectuosas, falta de rigurosidad, etc. En definitiva, hay que recurrir constantemente al recuento manual y a la visualización real del stock del sótano para tener una idea exacta, que habitualmente es necesaria para tomar decisiones de producir ciertas referencias o no.

- Por último, es importante tener en cuenta las estadísticas o historial de ventas de cada referencia, ya que en función de ellas, se considera si una referencia tiene un nivel de stock suficiente o no. Podemos diferenciar entre 3 tipos de sillas en cuanto a sus estadísticas de ventas, siempre hablando en unidades de sillas ya que así sirve de referencia para los lotes y los stocks. Por un lado existe un solo modelo de silla, tipo 'A', cuyas ventas en unidades supone aproximadamente el 25% del total de estructuras fabricadas. Por otro lado, del tipo 'B' existen unas 25 referencias cuyo porcentaje de ventas de cada una de ellas está entre el 1% y el 5%, suponiendo en su conjunto el 50% de las unidades totales vendidas. El 25% del resto de unidades lo completan un conjunto de 175 referencias aproximadamente, cuyo porcentaje individual es menor del 1%. En la Figura 17 se representa dichas estadísticas, tomadas sobre datos del año 2006. Estas estadísticas, aun siendo muy variables debido a las características propias del mercado de sillería y junto con la experiencia de los responsables de producción, sirven para tener una idea de los niveles de stock y para tomar decisiones en cuanto a puntos de pedido y lotes de fabricación.

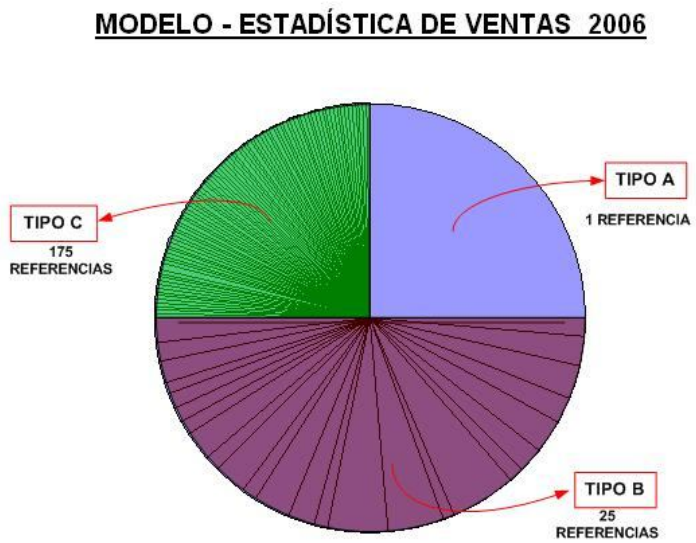


Figura 17: Modelo de las estadísticas de ventas 2006

De esta forma, revisando los niveles de stock y contrastándolos con las estadísticas de ventas, los responsables de producción deciden qué referencias y qué cantidades incluir en la siguiente orden de producción. Dependiendo de los lotes y del número de referencias incluidas en la orden, tendrá una vigencia de entre 2 a 3 semanas. La idea en el lanzamiento de órdenes es el conseguir tener el stock justo y variado de manera que se produzcan el menor número posible de faltas o roturas de stock, ya que estas provocan cambios en la planificación de la orden con el consiguiente gasto que esto supone. Además, para reducir este problema, el propio proceso de fabricación lleva a fabricar lotes más pequeños a los deseados en términos productivos, esto implica mayores tiempos de set-up, mayores costes y mayor desorganización al trabajar más cerca del límite de rotura de stock. Actualmente este es uno de los puntos de mejora que será tratado con mayor profundidad en el capítulo 2.

El siguiente paso es el de desglosar dicha orden de fabricación, ver qué piezas y qué procesos tiene cada referencia, y obtener las órdenes de fabricación para cada proceso. Estas órdenes de fabricación de cada proceso se ejecutan como se ha explicado en los apartados de descripción de los procesos. Esta tarea de desglosar cada referencia se realiza manualmente, revisando manuales de calidad con el flujo de procesos de cada silla, revisando también un fichero Excel que contiene esta información, y ampliado con la experiencia de los responsables. Esta tarea suele ser tediosa y llevar demasiado tiempo a los responsables, siendo otro de los puntos de mejora y estando éste relacionado con la Gestión del Conocimiento por parte del departamento de producción (actualización de dichos datos y fácil acceso a ellos).

1.4- Distribución en planta de la fábrica

En este apartado se analiza la distribución en planta o *layout* de la fábrica, ya que es un dato importante para la comprensión del problema que se está analizando. En la Figura 18 se muestra un esquema de la distribución en planta actual, con las líneas de flujo de material representadas.

Según el los procesos y los productos a producir en una fábrica se pueden dar diferentes tipos de arquitecturas en cuanto a la disposición de las máquinas. Existen arquitecturas orientadas al producto (flow-shop) cuyas máquinas se disponen en línea de flujo. También hay disposiciones orientadas a los procesos, son arquitecturas tipo taller (job-shop) en las que se agrupa por equipos o funciones similares. El caso de esta fábrica de estructuras metálicas de sillería es un caso intermedio de sistema híbrido, taller flexible o también denominado tecnología de grupos (TG). Consiste en la agrupación de máquinas que realizan tareas similares formando células o centros de trabajo. Como puede verse en la Figura 18, la fábrica bajo estudio tiene una variedad media-grande de referencias (200 aprox.) y una producción media, por lo que es un taller flexible de tecnología de grupos cercano al tipo job-shop. Además, como se vio en la Figura 2, no todos los trabajos tienen el mismo modelo de paso por máquinas sino que cada trabajo tiene su propio esquema de paso por las máquinas, por lo que no se puede identificar como un sistema de flujo uniforme. Dentro de cada grupo, pueden existir máquinas en serie o máquinas en paralelo. Entre las ventajas de tener un layout tipo TG se puede destacar que se puede tener una buena utilización de las máquinas, que permiten una importante flexibilidad y que es un compromiso entre el job-shop y el flow-shop. Como inconvenientes hay que mencionar la necesidad de almacenamiento intermedio para los trabajos en proceso (Work In Process, WIP) o la necesidad de mayores niveles de especialización de operarios.

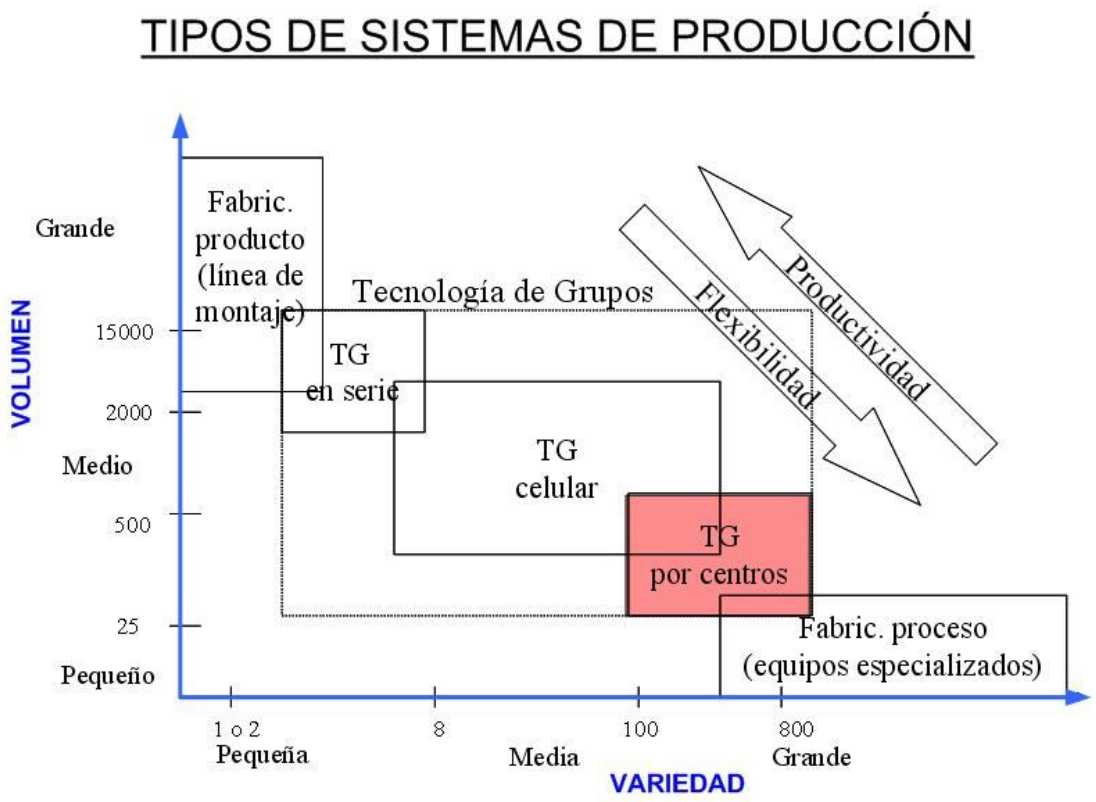


Figura 18: Tipos de sistemas de producción por su distribución en planta.

En esta fábrica se puede distinguir los siguientes grupos de máquinas:

- Corte: dos máquinas en paralelo (automática y manual)
- Curvado: dos máquinas en paralelo (máquinas idénticas)
- Prensas – taladros: varias máquinas en paralelo (idénticas o no relacionadas)
- Robots soldadura: tres máquinas en paralelo (idénticas)
- Soldadura manual: seis máquinas en paralelo (idénticas)
- Cromo: dos máquinas en serie (pulido + cromado)
- Pintura: dos máquinas en serie (pintado + embalaje)

Por último, en la Figura 19 se representa un plano del layout actual de la fábrica de estructuras metálicas y sus principales grupos de máquinas, mostrándose los conceptos explicados.

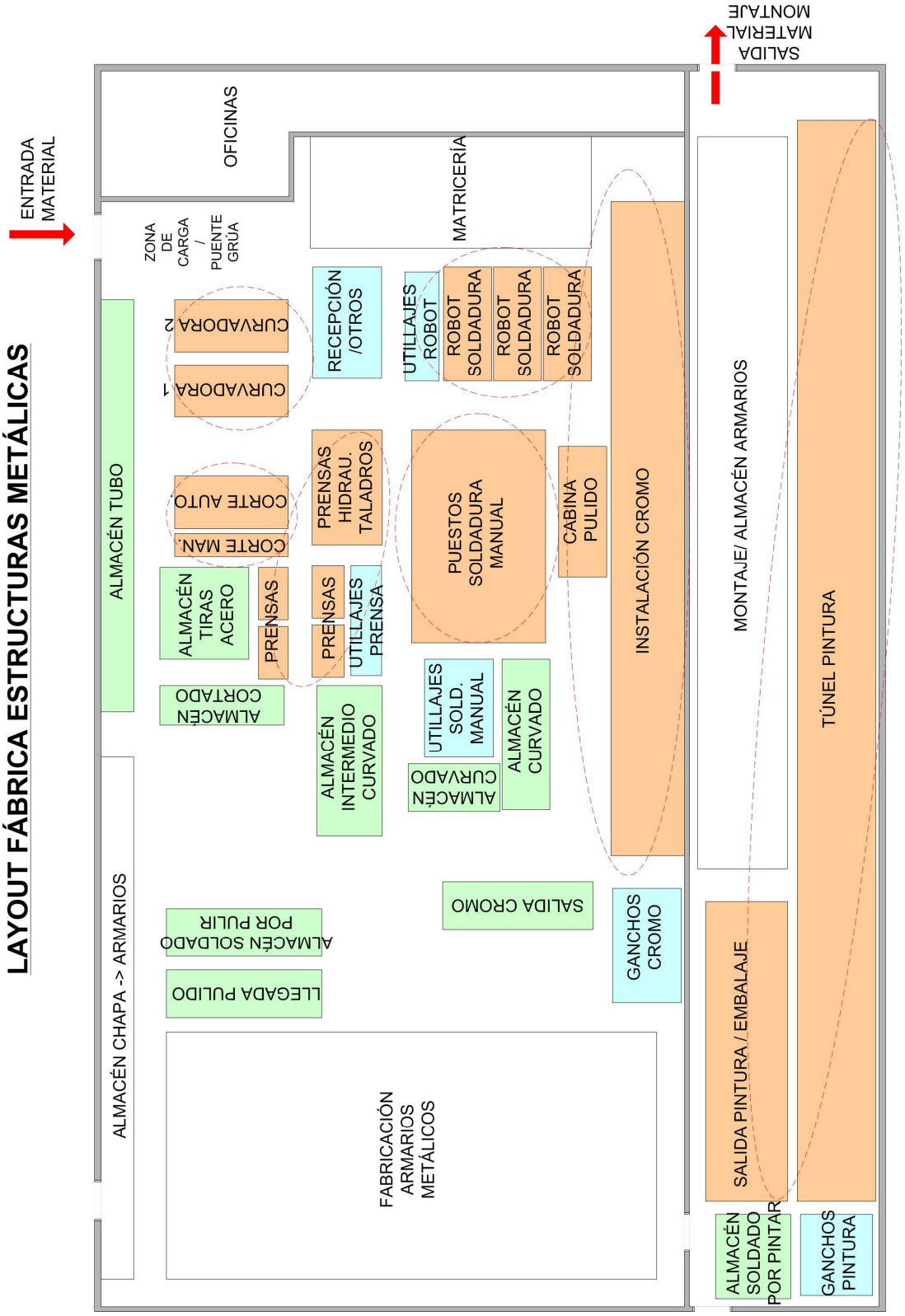


Figura 19: Layout de la fábrica de estructuras metálicas.

Capítulo 2- Metodología y propuestas para la mejora de la producción

2.1- Introducción

Una vez descrito el funcionamiento de la fábrica de estructuras metálicas en el capítulo anterior, en este capítulo se analizan los problemas a resolver en la organización de la producción, se explica brevemente la metodología utilizada y se plantean las mejoras que den solución a dichos problemas. En el apartado 0.1 (Objeto del Proyecto) se indicó que las vías principales de trabajo en este proyecto son la optimización de las órdenes de fabricación y el desarrollo de una aplicación de apoyo a la gestión de la producción. Sin embargo, es necesario enmarcar este trabajo dentro de un proyecto de mejora general de la organización de la producción en la fábrica, de manera que apoye las soluciones de optimización que se plantean y permita obtener resultados positivos.

2.2- Identificación de los problemas a resolver

En el Capítulo 1 se dejaron entrever algunos de los problemas que surgen de la actual forma de producir en esta fábrica. A continuación, se detallan dichos problemas, se analizan sus consecuencias y se enlazan con el área de conocimiento con el que están relacionados.

2.2.1- Faltas en la lista de carga y roturas de stock

Como se comentó, uno de los principales problemas es que, al revisar los listados de carga diarios por parte de los responsables de producción, había habitualmente numerosas faltas de estructuras que no estaban en stock y que se tienen que fabricar en el plazo de 3 días.

Una de las causas de estas faltas es la variedad de referencias que existen en el catálogo de ventas. La cantidad de referencias a vender es una decisión final de la dirección general en consenso con el departamento de marketing y el comercial. Aún así, desde el punto de vista de la producción se plantea la necesidad real de tal número de referencias. Es cierto que esta es una empresa que vende productos a consumidores finales, y que estos valoran positivamente la variedad en el catalogo. Pero también es cierto que existen muchas referencias similares, que van dirigidas a los mismos clientes y a satisfacer las mismas necesidades: "¿merece la pena tener 4 ó 5 modelos de sillas operativas, de parecidas estéticas y de precios y funcionalidad similares?", es una pregunta repetida en el departamento de producción. Incluso muchas de las sillas se mantienen en el catálogo durante años cuando su diseño ha quedado obsoleto con respecto al resto del mercado. Por todo ello, una propuesta de mejora es la de realizar un estudio de mercado que valore la viabilidad de dicha cantidad de referencias, así como de las tendencias actuales y futuras del mercado de sillería y mobiliario de oficina.

Otra de las causas de estas faltas diarias es el incorrecto o el insuficiente stock de estructuras terminadas y listas para tapizarlas y montarlas. Este es, por lo tanto, un problema de Gestión de Stocks, no sólo en cuanto a cantidades y referencias, si no también en cuanto a control y fiabilidad de los datos de stock (en el capítulo 1 se comentaron las dificultades para tener un listado diario y exacto de las estructuras que existían en el stock del sótano).

Por último, otra de las causas de las constantes faltas de producción es la dificultad de reflejar la variedad de referencias y cantidades dentro de las órdenes de fabricación y hacerlo de una manera viable. Como vimos en la Figura 17, un gran número de referencias (Tipo C) tienen un consumo muy bajo (menor del 1%). Por esto es difícil acertar en la decisión sobre el momento y el lote a fabricar, incluso con una gestión de stock eficiente, para estas referencias de tan bajos consumos debido a la variabilidad e imprevisibilidad en las estadísticas de ventas. Por ejemplo, es habitual que

en stock exista una canasta con 24 sillas de un determinado modelo. Siguiendo el consumo medio anual de este modelo, teóricamente se tendría stock para 4 meses. Sin embargo, es habitual que este stock sirva para más de un año, o que entre un sólo pedido de 29 sillas y se tenga que fabricar con urgencia, con el consiguiente cambio en la planificación de la producción. Esto se suele subsanar en parte teniendo cierto stock de material curvado para estas referencias y evitando cambios de set-up en las máquinas cortadora y curvadoras. Aún así, no se resuelve el problema al completo, por lo que otra de las propuestas de mejora es la de estudiar la viabilidad de una "línea" auxiliar de fabricación para estas referencias.

2.2.2- Costes de producción

Otro fundamento que ha motivado la realización de este trabajo ha sido el intentar reducir los costes de producción en la fabricación de estructuras metálicas. Las exigencias en cuanto a fechas de entrega, calidad y la variedad de productos, hace que los costes de producción sean susceptibles de mejora. A estos hechos también hay que añadir la competitividad en el mercado y la inclusión en éste de países de bajos costes de producción con cada vez mejores resultados. Además de decisiones estratégicas y de otra índole, como la subcontratación de trabajos a menores costes, un tema primordial y que se plantea como mejora principal es el de la optimización de las órdenes de producción. Tema sobre el que se tratará con mayor profundidad en apartados posteriores.

2.2.3- Elaboración de las órdenes de producción

En el capítulo 2 también se comentó la tediosa tarea que resultaba el elaborar las órdenes de producción. Aparte de la toma de decisiones sobre qué y cuánto fabricar, hay que desglosar todos los modelos y ver qué piezas y qué procesos llevan cada uno. Para ello el responsable de producción tiene que consultar manuales de calidad en los que aparecen diagramas de flujos y

procesos, archivos informáticos que hacen de improvisada base de datos y cuyo manejo y acceso es laborioso, o bien, basarse en el conocimiento propio y de los operarios con mayor experiencia. Además, una vez desglosadas todas las piezas y datos de cada una de ellas, hay que ordenar por medidas para las órdenes de corte y curvado. Esto lleva a proponer la realización de una herramienta de gestión de la producción, una aplicación informática que permita realizar estas tareas de una forma más automatizada.

2.2.3- Información de los procesos

Por último, se acaba de comentar que los datos de piezas y procesos existentes en la fábrica provienen de distintas fuentes y del conocimiento de los trabajadores y responsables. Esta información, además de resultar a menudo confusa e incompleta, va cambiando continuamente a medida que se modifican y mejoran procesos, con lo que habitualmente la información es anticuada y puede llevar a errores en la producción. Se propone por lo tanto, una aplicación informática que unifique esta información, la haga actualizable fácilmente y permita que el conocimiento quede en el seno de la empresa y no sólo en las personas.

2.2.4- Resumen de los problemas y mejoras

En el cuadro de la Tabla 1 se muestra un resumen de los problemas tratados, las mejoras propuestas y las áreas sobre las que actúan cada una.

Tabla 2: Resumen de problemas y mejoras

Problemas	Causas	Propuestas	Áreas de conocimiento
Faltas / roturas de stock	Variedad de referencias	Estudio de mercado	Marketing
	Stock insuficiente	Stocks Mínimos	Gestión de Stock
	Difícil gestión de las referencias tipo C	Línea auxiliar de producción	Gestión de la producción

Costes de producción	Plazos de entrega, calidad, variedad, …	Optimización de las órdenes de producción	Optimización de la producción / Secuención
Elaboración de las órdenes de producción	Falta de herramientas	Aplicación informática	Gestión de la producción
Información de los procesos	Datos incompletos y falta de actualización	Aplicación informática	Gestión de la información

2.3- Gestión del stock de producto terminado

La gestión del stock de producto terminado es una parte clave que influye en el proceso productivo de la fábrica de estructuras. Anteriormente se ha comentado las dificultades existentes con la gestión del stock actual, resumiendo:

- Stocks bajos en muchas referencias
- Stocks mínimos imprevisibles en referencias tipo C, alta variabilidad de la demanda
- Falta en el control del stock, mantenimiento inadecuado de los niveles de stocks
- Listados de stock erróneos

Para solucionar estos problemas se propone como futura línea de trabajo la realización de un proyecto de Gestión del Stock de estructuras metálicas, en el que se determinen stocks mínimos, puntos de pedidos, procedimientos para el control del stock, etc. Sin embargo, para la mejora en la producción de estructuras metálicas y su optimización se fijan una serie de medidas a corto plazo que se detallan a continuación. Básicamente se pretende establecer un modelo de fabricación bajo pedido, de manera que sea la propia sección de tapizado y montaje sea la que realice pedidos a la fábrica de estructuras. De esta manera, la planificación de producción de estructuras se hará con el objetivo de cumplir dichos pedidos.

El plazo de entrega de los pedidos será de 10 días laborables y se hará un pedido cada 2 semanas, tiempo óptimo estimado para un equilibrio entre optimización de la producción e inmovilizado de stock. Los pedidos se harán por lotes y estos quedarán fijados en función de cada stock mínimo y punto de pedido. En cualquier caso, el pedido mínimo será de 3 canastas (entre 12 y 200 unidades de estructuras por canasta), evitándose los pedidos de una, dos o muy pocas unidades. Estas medidas conllevan la necesidad de un mayor almacén, con el consiguiente gasto en inmovilizado que se deberá contemplar en el proyecto de Gestión de Stock propuesto. Además, es necesario un aumento puntual de los recursos productivos en la fábrica de estructuras para abastecer dicho aumento del almacén.

Por último, la gestión del stock queda bajo la dirección de la fábrica de montaje de las sillas. Las cantidades y referencias a pedir las establece la fábrica de montaje según considere oportuno en función del stock, y siempre llegando a un acuerdo con la fábrica de estructuras metálicas para no sobrepasar la capacidad productiva de esta (medida en miles de euros).

Actualmente estas medidas ya han sido aprobadas por la dirección del grupo de empresas y se encuentran en fase de implantación (fabricándose pedidos con el fin de aumentar el stock actual). Como resumen de las medidas propuestas:

Tabla 3: Resumen de las medidas propuestas

1. Modelo de fabricación bajo pedido
2. Plazo de entrega: 10 días laborables
3. Frecuencia de los pedidos: 2 semanas
4. Pedidos por lotes fijados
5. Aumento permanente del stock
6. Aumento puntual de los recursos de fabricación de estructuras

7. Límite económico de cada pedido (capacidad limitada)
8. Gestión del stock dirigida por la fábrica de montaje

2.4- Reseña teórica sobre la Tecnología de Producción Optimizada y aplicación a la fábrica de estructuras metálicas

En este apartado se explica brevemente la metodología a seguir para optimizar la gestión de la producción en la fábrica de estructuras metálicas y se muestra el camino que conduce a la optimización/secuenciación de los trabajos en máquina.

La Tecnología de Producción Optimizada (OPT: *Optimized Production Technology*) es un sistema de programación de la producción creado por Eliyahu Goldratt a principio de los ochenta. Es un enfoque basado principalmente en el equilibrado del flujo de producción y en la gestión en base a los recursos cuello de botella. A partir de las ideas de OPT dentro del ámbito productivo de las fábricas, Goldratt comenzó a ampliar sus estudios hasta formar un cuerpo teórico que sirviese para mejorar la gestión de todos los ámbitos dentro de cualquier tipo de organización, se le denominó Teoría de las Restricciones (TOC: *Theory Of Constraints*).

2.4.1- Teoría de las restricciones (TOC)

El enfoque TOC hace hincapié en que la única meta de una organización con ánimo de lucro es la de ganar dinero, ahora y en el futuro, considerando los restantes objetivos como simples medios para conseguir la meta final. De acuerdo a esto, será productivo para la empresa todo aquello que contribuya a conseguir el mencionado objetivo.

Además, hay que tener en cuenta dos características fundamentales de las organizaciones. En primer lugar, su estructura jerárquica piramidal hace que surjan problemas cuando cualquier mando intermedio intenta buscar el óptimo local para su parcela de poder, el cual no tiene por qué coincidir con el óptimo global de la organización. En segundo lugar, la configuración de la organización como una sucesión de acciones en cadena, que hace que el ritmo de avance hacia la meta o "velocidad" de la organización esté determinado por las partes más débiles de esta (restricciones o cuellos de botella).

Volviendo a la fábrica de estructuras metálicas bajo estudio y resumiendo en una frase, esta teoría promueve que la manera de acelerar el proceso global de la fábrica es haciendo que el cuello de botella trabaje hasta el límite de su capacidad para acelerar el proceso completo. Este conjunto de ideas y las explicadas a continuación han sido aplicadas con éxito en otra sección del grupo de empresas, en concreto, en la fábrica dedicada a la mecanización de tableros de melamina para mobiliario de oficina. Los buenos resultados de dicha experiencia y el convencimiento de que esta teoría es aplicable a la fábrica de estructuras metálicas, hacen que se proponga como mejora para la producción la aplicación de la TOC (más específicamente, de la OPT).

De esta forma, para lograr un proceso de mejora continúa en la búsqueda de sus metas globales y aplicándolo a la fábrica de estructuras metálicas, se deben seguir los siguientes pasos:

2.4.1.1- Paso 1: Identificar las restricciones del sistema

En la fabricación de estructuras metálicas, la restricción o cuello de botella se puede encontrar en cualquiera de los procesos que se detallaron en el capítulo 1. Básicamente existen dos formas de encontrar los cuellos de botella en un sistema. Una es llevar a cabo un perfil de recursos de capacidad, sin embargo los datos de que se disponen contienen demasiados

errores para hacer un análisis de datos fiable o simplemente no se dispone ellos. La otra manera, que es la utilizada en este trabajo, consiste en usar el conocimiento de la planta, ver la operación del sistema y hablar con los supervisores y trabajadores. Comentarios como "Siempre esperamos que lleguen piezas de la máquina X", o "me dan más trabajo del que puedo hacer y no puedo seguir el ritmo", son los que indican la localización del cuello de botella.

Así, los procesos finales de cromado y pintura están continuamente esperando las estructuras para procesarlas, por lo que el cuello de botella estará localizado en un proceso anterior. Por otro lado, los soldadores no pueden seguir el ritmo exigido para abastecer la demanda de estructuras pedidas y se acumula material intermedio curvado pendiente de soldar con cierta facilidad. Además, existen dificultades para contratar soldadores cualificados (aun sin considerar que fuera cuello de botella), lo que hace que esta restricción sea más fácilmente detectable. Se concluye y se acepta por parte de la dirección, que el cuello de botella de la fábrica de estructuras metálicas se encuentra en estos momentos en el proceso de soldadura (unificando soldadura manual y robots).

2.4.1.2- Paso 2: Explotar las restricciones del sistema

Implica buscar la forma de obtener el mayor rendimiento posible de la restricción, en este caso, del proceso de soldadura. Se debe eliminar cualquier causa de tiempo improductivo. Una opción para eliminar tiempos improductivos sería la de invertir para evitar paradas de máquinas, facilitar las tareas de set-up, tareas de soldadura o de montaje en utillaje, lotes mayores, etc. Sin embargo, inicialmente este paso debe producirse sin realizar ningún tipo de inversión que suponga un gasto añadido (mejores utillajes, sistemas de carga y descarga automática, etc.), ya que una detección errónea del cuello de botella o un cambio de éste convertiría a la inversión en innecesaria e iría en contra del objetivo de reducir gastos en la

fábrica. Por lo tanto, la manera de explotar la restricción es mediante la correcta programación de las órdenes de fabricación, por lo que es aquí donde aparece la optimización de las órdenes o secuenciación de los trabajos en las máquinas de soldadura. En el capítulo 3 se profundiza sobre este tema, comentado ya en la Introducción del proyecto como principal vía de trabajo.

Como se vio en el capítulo 1, el proceso de soldadura en esta fábrica se puede realizar mediante soldadura manual o mediante robots de soldadura. A la hora de optimizar el proceso hay que diferenciar entre ambas opciones, ya que los tiempos de soldadura y set-up son distintos. La empresa en estudio apuesta claramente por el proceso de soldadura mediante robots ya que, entre otras cuestiones, el tiempo en soldar una estructura es considerablemente menor que en soldadura manual y no necesita tan alta cualificación en los operarios soldadores. Se concluye que, aplicando la Teoría de las Restricciones y teniendo en cuenta la situación actual de la fábrica, el paso 2 consiste en **optimizar de los robots de soldadura**.

2.4.1.3- Paso 3: Subordinar todo a la restricción anterior

Todo el esquema de la fábrica debe funcionar al ritmo que marca la restricción de soldadura.

Los procesos anteriores al de soldadura en el flujo de la fábrica deben ajustarse a la programación de fabricación de soldadura, de manera que suministren material en el momento adecuado y la cantidad necesaria. Dicho en otras palabras, hay que ejecutar todos los procesos anteriores no sólo para que la soldadura no se quede parada en ningún instante, sino para que suelde las estructuras que deben soldar en todo momento según la planificación optimizada. Un exceso de suministro también acarrea problemas y gastos, ya que se convertiría en inventario. Sin embargo siempre va a ser necesario un pequeño inventario o stock amortiguador, ya que existen numerosos factores

imprevisibles en la producción diaria que provocan el incumplimiento del plan previsto (averías de máquinas, absentismo laboral, retrasos proveedores, etc.).

Para los procesos posteriores a soldadura se tiene que ajustar el ritmo de trabajo de estos a la salida de estructuras soldadas, es decir, estarán a expensas de las cantidades y referencias que salen de soldadura.

2.4.1.4- Paso 4: Elevar las restricciones del sistema

Esto significa superar la restricción de soldadura marcada por su falta de capacidad. Puede ocurrir que una vez se analiza el trabajo de la restricción en el paso 2 y se decide una forma de explotar al máximo su capacidad, la restricción desaparece. Por ello se aconsejaba no invertir en el paso 2.

Elevar la restricción de soldadura implica un programa de mejoramiento del nivel de actividad de la soldadura: más horas de trabajo, subcontratación, compra de nuevos robots, etc. Se recomienda las inversiones se realicen poco a poco para que, una vez aumentada la capacidad con una decisión, se generen nuevas soluciones de explotación volviendo al paso 2.

2.4.1.5- Paso 5: Si en las etapas previas se elimina una restricción, volver al paso 1

Una vez realizados los cuatro pasos anteriores, es posible que, a base de mejorar la utilización de la limitación o de incrementar su capacidad, ésta haya desaparecido. Este hecho no es el final del proceso de mejora continua perseguido, puesto que de darse la situación mencionada, aparecerá una nueva limitación en algún otro proceso de la fábrica. De esta manera, se debe trabajar de forma permanente con las nuevas restricciones que se manifiesten.

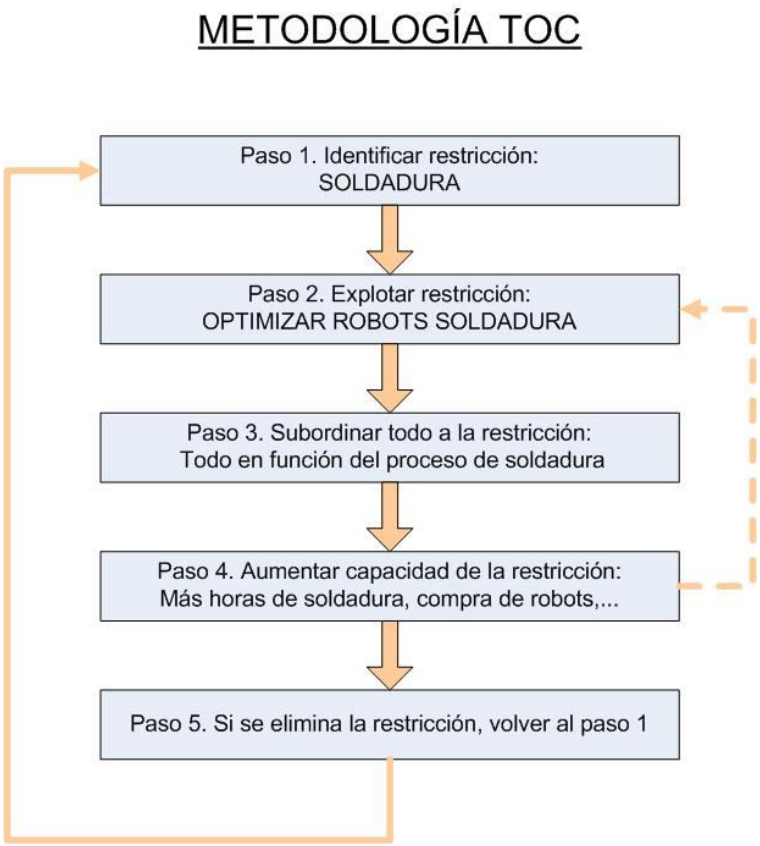


Figura 20: Esquema de la metodología TOC aplicada a este proyecto.

2.4.2- Gestión de la producción con Tecnología de la Producción Optimizada

Como se vio anteriormente, TOC proviene del desarrollo del enfoque de programación de la producción denominado Tecnología de la Producción Optimizada (OPT). En este apartado se realiza un esbozo de las ideas OPT para aplicarlas en la fábrica de estructuras metálicas y que deben tener continuidad en la dirección diaria de la producción. Estas ideas se proponen como una solución para conseguir las mejoras buscadas en este proyecto de disminución de los gastos de operación a partir de la optimización de las órdenes de fabricación (además de disminuir los inventarios y, consecuentemente, aumentar los ingresos netos).

Los principios básicos de la OPT pueden resumirse en nueve reglas, que guardan coherencia con los cinco pasos enunciados en el apartado anterior.

Estas reglas, que permiten la correcta aplicación de la Tecnología de Producción Optimizada se enuncian a continuación. Existe abundante literatura para ampliar esta información (véase Domínguez Machuca, J.A. y otros, 1995, Capítulo 8).

- Regla 1: No se puede equilibrar la capacidad productiva, sino el flujo de producción.
- Regla 2: La utilización de un recurso que no es cuello de botella no viene determinada por su propia capacidad, sino por alguna otra limitación del sistema.
- Regla 3: La utilización y la activación de un recurso no son el mismo concepto.
- Regla 4: Una hora perdida en un cuello de botella es una hora que pierde todo el sistema.
- Regla 5: Una hora ganada en un recurso no cuello de botella es un espejismo.
- Regla 6: Los cuellos de botella rigen tanto el inventario como la facturación del sistema.
- Regla 7: El lote de transferencia puede no ser, y de hecho muchas veces no debe ser, igual al lote en proceso.
- Regla 8: El lote de proceso debe ser variable a lo largo de su ruta y también en el tiempo.
- Regla 9: Las prioridades sólo se pueden fijar teniendo en cuenta simultáneamente todas las limitaciones del sistema. El tiempo de fabricación es un derivado del programa.

2.4.3- Programación con el sistema DBR

El sistema Drum - Buffer - Rope, conocido como DBR (en español significa: tambor - amortiguador - cuerda o TAC), es una técnica de programación de la producción para implementar los pasos de explotación, subordinación y

aumento de la capacidad de la Teoría de la Restricciones, o en este caso de la OPT.

La base del sistema esta centrada en la restricción, en el caso de este proyecto en el proceso de soldadura, que se convierte en un punto de control natural y cuya tasa de producción dirige el ritmo de la fábrica. La técnica consiste en programar inicialmente la restricción a toda su capacidad, tratando de optimizar al máximo su rendimiento. El cumplimiento de esta programación marcará las pulsaciones que rigen el sistema y gobiernan toda la producción, de ahí el nombre de tambor a este punto de control.

Luego se programan los demás procesos que tienen capacidad extra y no son cuello de botella. La capacidad adicional que tienen los recursos situados antes de la restricción, servirá para crear un stock amortiguador cuya función es proteger al recurso restricción de acontecimientos imprevisibles y fluctuaciones. El tamaño del stock amortiguador se mide en tiempo estándar y es el tiempo requerido por el recurso restrictivo para procesar todo el stock acumulado. Este intervalo de tiempo se mide desde la fecha de lanzamiento de un trabajo hasta la fecha en que el cuello de botella demanda su consumo. Esta conexión entre el stock amortiguador y el punto de lanzamiento del material situado en el inicio del proceso productivo se le denomina cuerda, creándose así un ciclo de retroalimentación con la producción del recurso restrictivo.

2.4.3.1- Aplicación DBR a la fábrica de estructuras metálicas

Para concretar la programación según el sistema DBR de cada proceso en la fábrica bajo estudio hay que distinguir según el tipo de relación que guarda con el cuello de botella. Las conclusiones aquí obtenidas fueron adelantadas en los apartados 3.3.1.2 y 3.3.1.3.

A) Programación del cuello de botella: soldadura robot. Para programar la soldadura por robots sólo se tendrá en cuenta su propia limitación de capacidad y los datos de la demanda a cubrir. En este caso, la limitación de capacidad viene dada por las horas de robots disponibles, que en la actualidad es de 34,5 horas diarias ya que los 3 robots trabajan de 6:30 a 18:00 en horario ininterrumpido. Los datos de la demanda a cubrir vienen dados por el pedido que realiza la fábrica de tapizado y montaje cada 2 semanas, con sus referencias y cantidades. Además hay que tener en cuenta la fecha de entrega de 10 días laborables. La secuencia adecuada para la programación de los robots está regida por esos datos, de manera que se pueden agrupar, disgregar, adelantar o retrasar cantidades y referencias siempre y cuando se satisfaga el pedido en curso. En esto consiste la optimización de las órdenes de producción de los robots (capítulo 3).

B) Programación de los recursos no limitados anteriores al cuello de botella. En la fábrica de estructuras estos recursos son: la compra de materia prima, el proceso de corte, el de curvado y procesos del grupo de prensas. La programación de estos procesos se realizará a partir de los datos obtenidos en la optimización de los robots de soldadura, de forma que se asegure el pleno funcionamiento de estos. Esto se logra estableciendo un stock amortiguador, llamado *buffer de tiempo* que proteja al cuello de botella de las perturbaciones que se puedan producir. Este stock de piezas curvadas y conformadas ya existe en la actualidad. Siempre y cuando el funcionamiento del cuello de botella se asegure, estos procesos se pueden optimizar en cuanto a la secuenciación de trabajos en máquina

C) Programación de los recursos no limitados posteriores al cuello de botella. Estos recursos son: el taladrado (en gran parte de los casos), pulido, cromado, pintado y embalado de las estructuras. En estos procesos se realiza una programación subordinada a la ya realizada para el cuello de botella, sólo tomando en cuenta la fecha de terminación de los componentes por parte de la soldadura y el tiempo

de operación correspondiente a cada uno de ellos. Cada uno de estos centros de procesado deberá empezar a trabajar cuando disponga de material para ello, sin embargo cuando se adelantan algunas referencias con el objeto de aprovechar al máximo la capacidad de los robots se corre el riesgo de que estas piezas sean procesadas también con antelación generando inventarios y atrasando otros pedidos. Para evitar esta situación, todos aquellos centros de trabajo que utilicen piezas de la soldadura, debe contar con un programa que guíe sus actividades (Partes de cromo o pintura).

D) **Programación de los recursos sin conexión directa con el cuello de botella, ligados a operaciones de ensamblaje**. En esta fábrica de estructuras metálicas no existe procesos de este tipo.

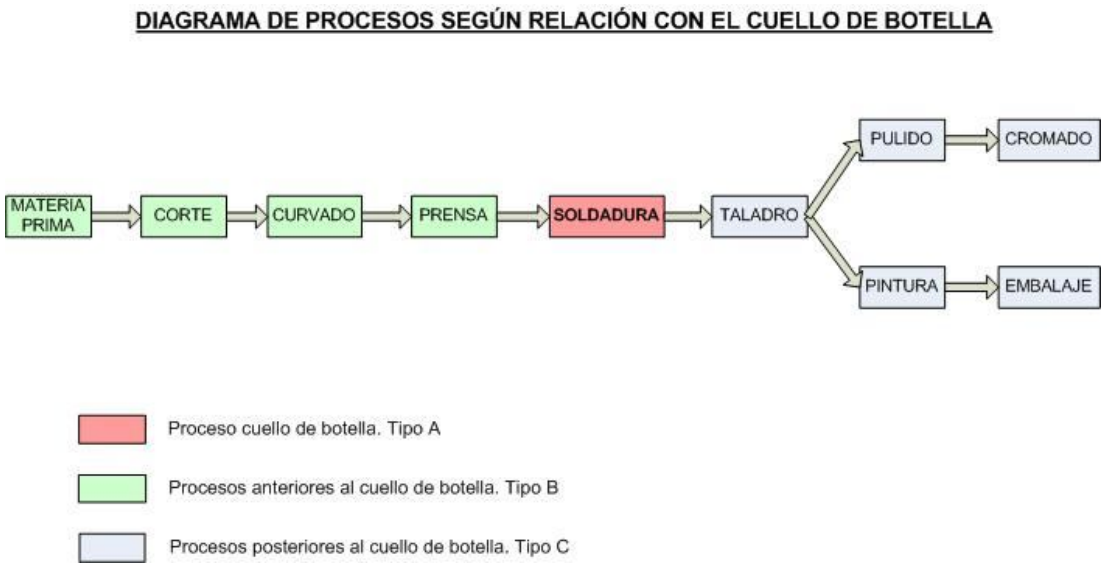


Figura 21: Diagrama simplificado de procesos según su relación con el cuello de botella

Capítulo 3- Optimización de las órdenes de producción en los robots de soldadura

3.1- Introducción

Como se ha visto en el capítulo 2, las propuestas de mejora y la metodología empleada llevan a la optimización de las órdenes de producción en los robots de soldadura como paso primordial en la consecución de los objetivos. En este capítulo se identifica el problema de optimización de la programación en los robots, se describe un modelo que permita su resolución y se aplica un algoritmo que proporcione una solución al problema. Este problema se enmarca dentro del área de la Secuenciación (*scheduling*). La secuenciación de trabajos en máquinas se puede definir como la asignación en el tiempo de los recursos disponibles con el objeto de optimizar una determinada medida de comportamiento. Se trata de establecer la secuencia para el procesado de una serie de trabajos sobre un conjunto de máquinas, siendo compatible con ciertas restricciones y bajo un criterio determinado. Este problema se determina según tres factores principalmente:

1. La arquitectura del taller (disposición de máquinas en el taller)
2. Las características de los trabajos
3. El criterio de optimización

3.2- Identificación del problema en cuestión

En este apartado se identifica y define el problema a resolver para optimizar las órdenes de producción dentro del centro de trabajo de los robots de soldadura. Como se explicó detalladamente en el capítulo 1 (véase apartado 1.2.5), tenemos tres robots de soldadura iguales y trabajando en paralelo, y cada uno de ellos tiene dos mesas de trabajo en la que se coloca el utillaje

correspondiente a un modelo determinado de silla. Para comprender mejor los conceptos adoptados a continuación, se muestra un diagrama de ejemplo al final del apartado.

3.2.1- Concepto de referencia

Se denomina 'referencia' a cada uno de los modelos de sillas a soldar que se han incluido en la orden de producción correspondiente. Dicha referencia indica un modelo de estructura metálica que es el producto final fabricado en esta fábrica, es decir, puede ser una referencia de una silla, un brazo, un chasis, etc. Así por ejemplo, la referencia 902002 indica la silla modelo *Select Cisne* y la referencia 902005 indica la estructura del brazo que lleva la silla *Select* y que se fabrica de forma independiente.

3.2.2- Conceptos de trabajo y tiempo de proceso

Otro concepto a definir es el de 'trabajo'. Se denomina trabajo a cada conjunto de estructuras que se sueldan en un utillaje. Estos trabajos van intrínsecamente unidos a una referencia y tienen un 'tiempo de proceso' (p_j), que es el tiempo que tarda el robot en soldar dicho conjunto de estructuras del trabajo.

Un ejemplo aclaratorio: suponga que en la orden de producción se tienen 240 sillas de la referencia A, el utillaje correspondiente para esta referencia tiene una cabida para 3 sillas y el tiempo de proceso es de 4 minutos. Esta referencia se desglosa en 240/3=80 trabajos y cada uno de estos trabajos será asignado a una carga fijada en el tiempo (véase apartado 3.2.3 para el concepto de carga).

3.2.3- Concepto de carga

Se llama 'carga' a la unidad lógica que representa un "hueco" donde asignar un determinado trabajo, que transcurre desde que la mesa del robot gira 180 grados para comenzar a soldar un utillaje hasta el siguiente momento en el que vuelve a girar para soldar el otro utillaje colocado en la mesa opuesta. La carga no es una medida de tiempo, sino que se puede decir que una carga estará llena o vacía por un determinado trabajo. El tiempo físico que transcurre es el tiempo de proceso y es variable según el trabajo a soldar. Estas unidades fijas de cargas son necesarias definirlas para restricciones de utillajes y lotes, ya que sólo se dispone de un utillaje por referencia y por lo tanto una misma referencia no puede ocupar dos cargas consecutivas. En el diagrama representado al final de este apartado, podemos considerar cada rectángulo coloreado como una carga que representa un "hueco" donde se asigna cada trabajo.

El conjunto de trabajos de todas las referencias, asignados al conjunto de cargas determina la secuencia de trabajos a seguir en cada máquina. El número de cargas que tiene cabida a lo largo del plazo de ejecución de una orden de producción es igual al número de trabajos totales de todas las referencias.

3.2.4- Conceptos de máquinas y capacidad

También se tiene tres robots de soldadura que identificamos como 'máquinas' idénticas, ya que son máquinas en paralelo y el tiempo de proceso de una operación es idéntico en cada máquina. Dichas máquinas tienen una 'capacidad' (S) determinada. Teniendo en cuenta que el plazo de ejecución de cada orden de producción es de 10 días laborables, la capacidad de la máquina viene dada por el número de horas de trabajo de que disponemos a lo largo de esas dos semanas, según los turnos y el personal disponible. Como se vio en el capítulo anterior, en la actualidad los 3 robots trabajan de 6:30 a 18:00 en horario ininterrumpido, lo que supone una capacidad de 345 horas (34,5 x 10). Cada una de estas máquinas van

procesando los trabajos en un orden determinado, siempre teniendo en cuenta la restricción de que un utillaje sólo se puede colocar en una mesa a la vez (6 mesas en total, 2 por cada robot) y de que cada referencia de estructura solo dispone de un utillaje.

3.2.5- Conceptos de lote y restricción en los tiempos de procesos en el lote

Por otro lado, estas máquinas procesan los trabajos por 'lotes'. Se denomina lote al conjunto de trabajos que se están soldando en la misma máquina (un modelo de silla en la mesa 1 y otro en la mesa 2 de cada robot) y que forman una unidad de trabajos sin tiempo de set-up de por medio. El lote termina de ser procesado en el momento que se cambie uno de los utillajes y se comience a procesar una nueva referencia. El lote siguiente puede, bien mantener una referencia anterior (en el caso más habitual de que se decida cambiar un solo utillaje), bien tener dos nuevas referencias en la máquina (en el caso de que coincida el cambio de los dos utillajes en el mismo instante).

En la programación de los trabajos tal y como se realizan actualmente en la fábrica de estructuras metálicas, cada lote comprende normalmente todo el conjunto de trabajos hasta terminar con la cantidad total prevista a fabricar de esa referencia. Es decir, si se necesita fabricar 260 sillas de un modelo, una vez que se coloque el utillaje de este modelo se intenta soldar las 260 sillas a la vez, sin cambiar el utillaje de la mesa. Con la nueva definición de lote propuesta, se deja la opción de cambiar de utillaje sin terminar el total de sillas, en caso de que el algoritmo de programación así lo proponga como solución más óptima.

El tiempo de proceso en un lote, viene dado por el tiempo de proceso del trabajo más lento de dicho lote (análogamente de las dos referencias que consta dicho lote). Para entender esta restricción (véase apartado 1.2.5), recordemos que las dos mesas de las que consta el robot trabajan

alternándose a medida que ésta gira, es decir, mientras en una mesa se esta montando las sillas en su utillaje, en la otra mesa el robot está soldando las sillas del otro utillaje al mismo tiempo, con lo cual el tiempo que prevalece es el más lento de los dos. Una consideración importante y corroborada por la experiencia es que el tiempo de montaje de un modelo en el utillaje y su tiempo de soldadura son los mismos para un modelo de estructura. Dicho tiempo es proporcional al número de pletinas y tubos del modelo: a mayor número más tiempo se tarda en montar y más puntos de soldadura lleva.

Estos tiempos anteriores serían distintos si se contara el tiempo que tarda el operario en repasar con la amoladora radial la silla soldada, sin embargo éste no se considera ya que actualmente esta tarea se realiza fuera de los robots en las horas de solape entre los operarios de distintos turnos. Esta externalización de la tarea de repaso es en sí misma una mejora en la optimización de la programación en los robots que no se realizaba hasta hace poco y consigue que los robots no se queden tanto tiempo parados esperando a los operarios. Además, en caso de que el operario termine el montaje antes de que el robot termine de soldar, esos minutos los puede y debe emplear en repasar las sillas (dejando menos tareas de repaso externo).

En la figuras 22 y 23 se muestran un ejemplo para entender mejor la restricción del tiempo de proceso y de las tareas de repaso externo como mejora en la productividad de los robots. La nomenclatura que se sigue es la siguiente:

- TS: tiempo de soldadura del robot
- TM: tiempo de montaje-desmontaje de las estructuras del utillaje
- TP: tiempo de proceso en un lote (el más lento entre TS y TM)
- TR1: tiempo de repaso de la estructura del utillaje 1
- TR Ext: tiempo de repaso externo, fuera del robot
- TC: tiempo en soldar 2 utillajes consecutivos, tiempo de ciclo

Consideramos el ejemplo con un tiempo para el utillaje 1 de TS=TM= 5’ y un tiempo necesario para repasar las sillas de dicho utillaje de 2’. Un tiempo

para el utillaje 2 de TS=TM= 7’ un tiempo necesario para repasar las sillas de dicho utillaje de 3’. Se observa como el tiempo total (TC+TR) es el mismo para ambos (mismas horas de operarios). Sin embargo el tiempo de ciclo es menor cuando las tareas de repaso se externalizan, es decir, el rendimiento de los robots es mayor. También hay que comentar que las tareas de repaso son más productivas al externalizarlas y hacerlas el operario continuadamente, que realizándolas intercaladas entre el trabajo de montaje-desmontaje.

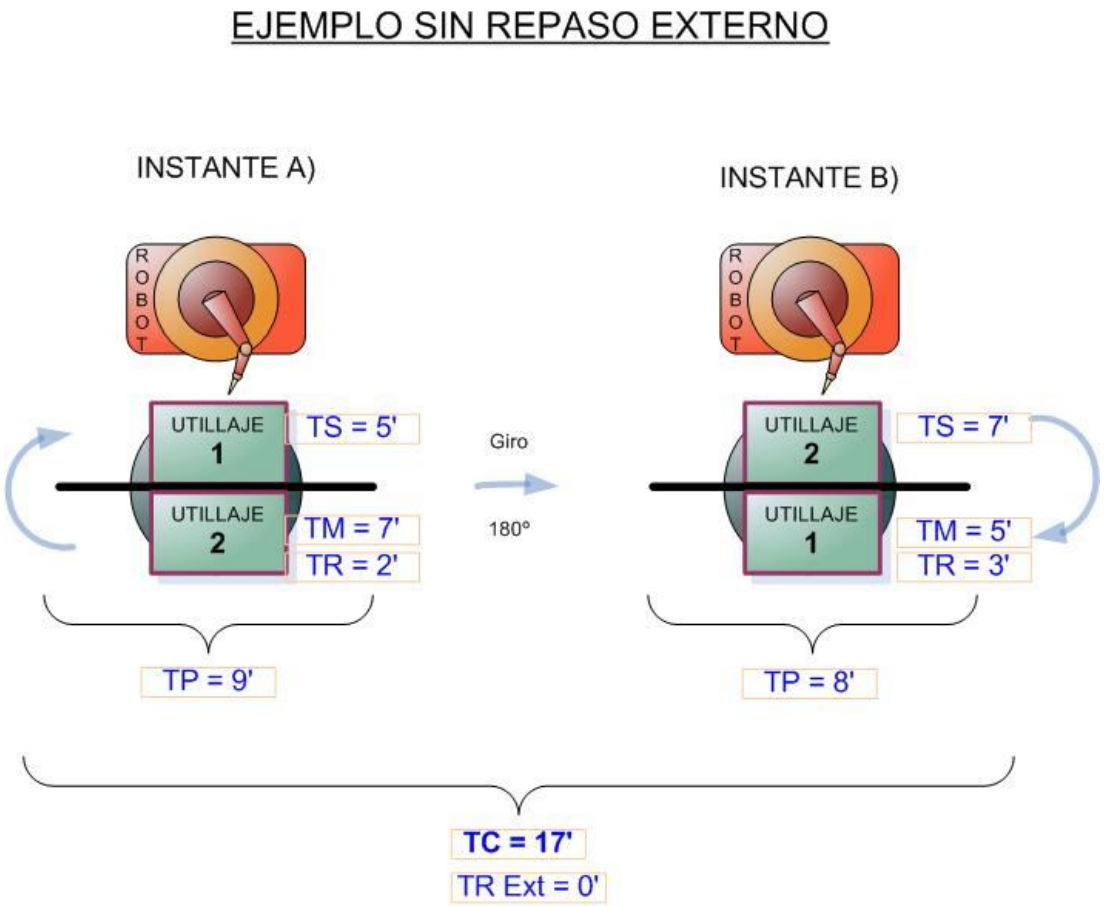


Figura 22: Ejemplo de tiempos de proceso sin repaso externo

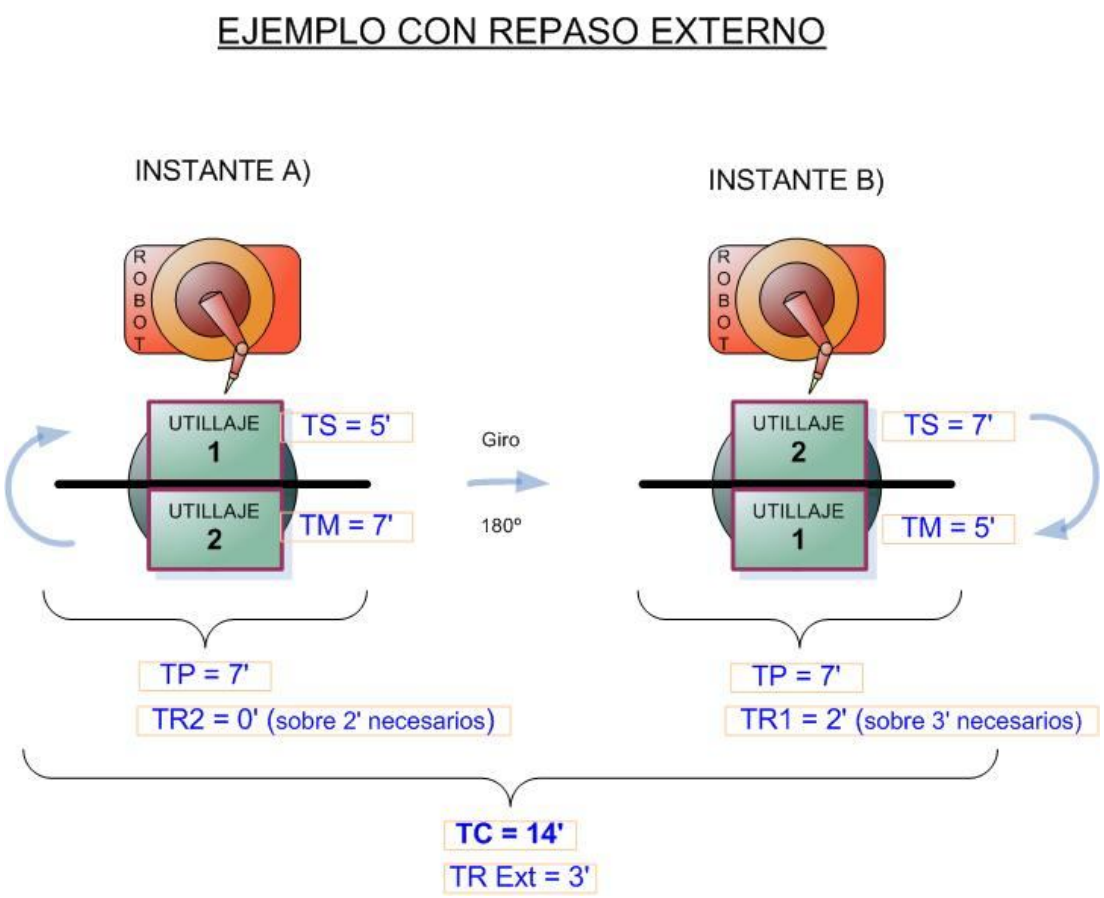


Figura 23: Ejemplo de tiempos de proceso con repaso externo

Además, otra idea para que el robot estuviese menos tiempo parado sería la de asignar dos operarios para las tareas de desmontaje y montaje en el utillaje, de manera que se tardase menos tiempo en montar-desmontar que en soldar la sillas por mucha diferencia de complejidad que hubiera entre el modelo de la mesa 1 y el de la mesa 2. Este hecho cambiaría por completo el enfoque de la optimización y su función objetivo a minimizar, ya que siempre prevalecería el tiempo de soldadura del robot. Sin embargo, esta solución de asignar dos operarios no es viable ya que literalmente se obstaculizarían entre sí y convendría sólo para algunos casos (de hecho ha sido probada sin éxito). Además supondría un gasto en capital humano, lo que se desaconsejaba a la hora de realizar el paso 2 de la metodología TOC (véase apartado 2.4.1.2).

3.2.6- Concepto de tiempos de set-up

También tenemos que considerar el tiempo de set-up incurrido al cambiar de utillaje en el robot, es decir, al introducir una nueva referencia en una máquina. Este tiempo es independiente de la secuencia, ya que consiste en cambiar el utillaje directamente con una carretilla y colocar el nuevo material cerca del robot. Mediante la toma de tiempos con cronómetro, se han realizado una serie de mediciones y se ha establecido el tiempo de set-up en una media de 25 minutos.

3.2.7- Criterio de optimización

Los criterios de optimización en secuenciación de la producción se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- criterios basados en tiempos de finalización de los trabajos (minimizar la suma de tiempos de finalización, minimizar el tiempo total de los trabajos, …)
- criterios basados en fechas de entrega (minimizar la suma de retrasos, minimizar el nro de trabajos retrasados,…)
- criterios basados en costes de inventario y utilización de máquinas (minimizar el tiempo total que están desocupadas las máquinas, …)

Analizando el problema planteado en esta fábrica, el objetivo que se marca para optimizar los trabajos en los robots es el de minimizar el tiempo de finalización de todos los trabajos (C_{max}), también denominado makespan o longitud de programación. De esta forma se conseguirá reducir gastos, que es el objetivo buscado, al necesitar menos horas de soldadura para conseguir la misma cantidad de trabajo terminado y siempre teniendo en cuenta la fecha de finalización de los trabajos (10 días).

En la figura 22 se representa un diagrama de ejemplo simplificado, con pocos trabajos y tiempos de proceso iguales para todos los trabajos, de lo que puede ser una secuenciación de trabajos en los robots. Se indican gráficamente las

máquinas, trabajos, cargas, lotes y demás conceptos empleados en este apartado.

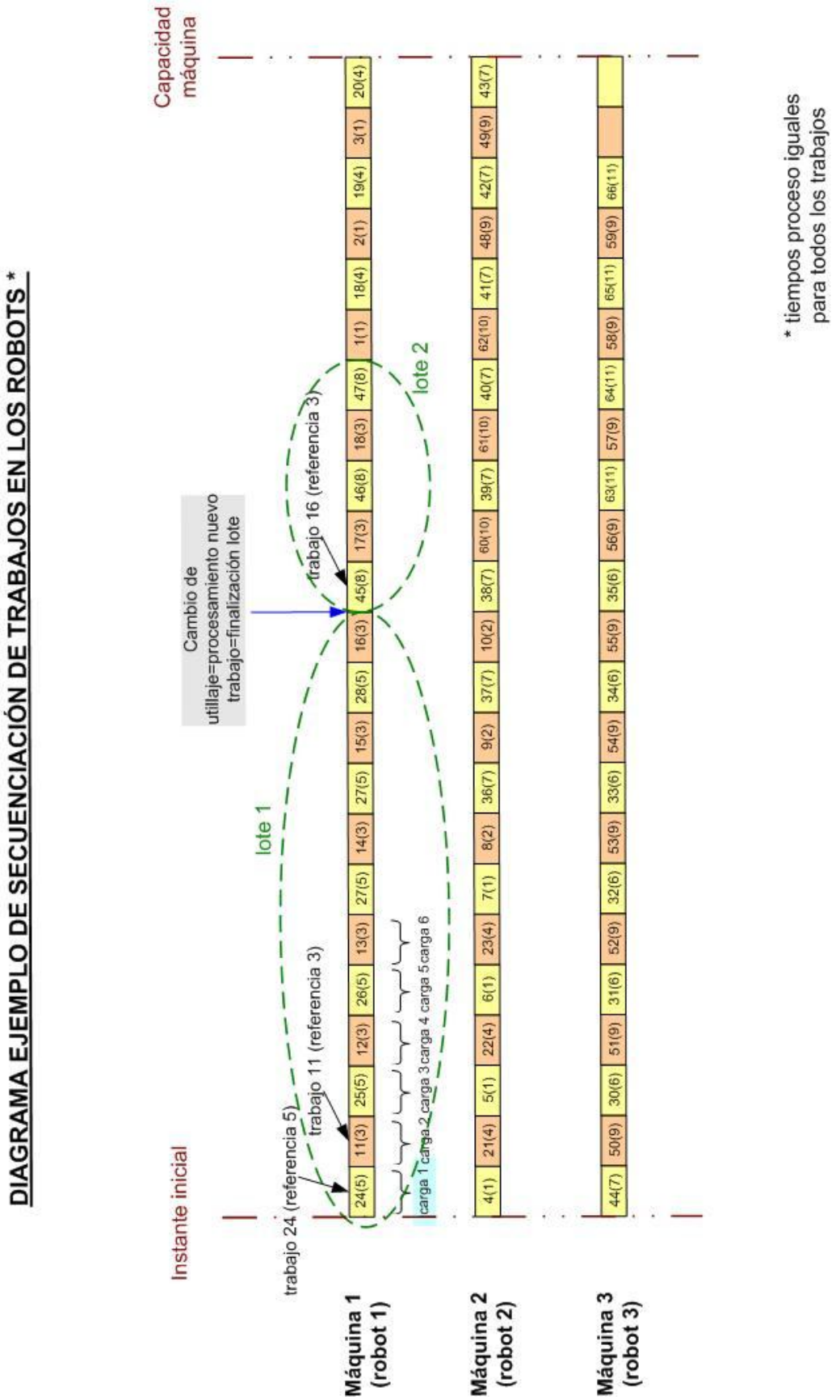


Figura 24: Diagrama ejemplo de secuenciación de trabajos en los robots

3.3- Modelo matemático

En este apartado se propone un modelo matemático que represente el problema de optimización que se está tratando. Como ha visto en el apartado anterior, el problema que hay que modelar es el siguiente:

> *Minimizar el tiempo de proceso (makespan) en máquinas idénticas en paralelo, con trabajos con tiempos de proceso diferentes, restricciones de capacidad, tiempos de set-up independientes de la secuencia y restricciones de utilización de máquinas*

Es un problema cuya complejidad depende fundamentalmente del tipo de variables que forman parte del mismo y del carácter lineal o no lineal de las restricciones. Por lo tanto, para mostrar el modelo matemático hay que definir el conjunto de variables, el conjunto de restricciones y la función objetivo a optimizar. Se trata de un problema con variables enteras englobado dentro de los *Problemas de Optimización Combinatorios* y más concretamente dentro de los problemas de secuenciación de *clase NP*. Los problemas de clase NP son aquellos para los que no existe un algoritmo que en un número polinomial de pasos obtenga siempre el óptimo del problema, sin embargo se puede comprobar el coste y la validez de una solución dada. El modelo de programación lineal que se propone para la optimización de los robots se expone tras la definición de la notación empleada.

Notación:

Conjuntos:

R conjunto de referencias $\{r \in R\}$

G conjunto de cargas $\{g \in G\}$

J conjunto de trabajos $\{j \in J\}$

M conjunto de máquinas $\{m \in M\}$

B conjunto de lotes $\{b \in B\}$

Parámetros:

p_j tiempo de proceso del trabajo j

S capacidad de la máquina

U tiempo de set-up

Variables de decisión:

X_{rgm} = { 1, si la carga g contiene a la referencia r en la máquina m
0, si la carga g no contiene a la referencia r en la máquina m

X_{bm}= { 1, si el lote b se procesa en la máquina m
0, si el lote b se procesa en la máquina m

X_{jbm}= { 1, si el trabajo *j* es asignado al lote *b* y procesado en la máquina *m*
0, si el trabajo *j* no es asignado al lote *b* y máquina *m*

P_{bm} tiempo de proceso del lote *b* procesado por la máquina *m*

C_{max} makespan

Minimizar C_{max} (1)

sujeto a:

$$\sum_{b\in B}\sum_{m\in M} X_{jbm} = 1 \qquad \forall j \in J \tag{2}$$

$$P_{bm} \geq p_j X_{jbm} \qquad \forall j \in J, \forall b \in B, \forall m \in M \tag{3}$$

$$\sum_{j\in J}\sum_{b\in B} P_b X_{jbm} \leq S \qquad \forall m \in M \tag{4}$$

$$2 \cdot X_{rgm} - X_{r(g+1)m} \neq 1 \qquad \forall r \in R, \forall g \in G, \forall m \in M \tag{5}$$

X_{rgm}

$$C_{\max} \geq \sum_{b \in B} \sum_{j \in J} P_{bm} X_{jbm} + U \cdot \sum_{b \in B} X_{bm} \quad \forall m \in M \tag{6}$$

$$X_{rgb},\ X_{bm},\ X_{jbm} \qquad \text{binarios} \tag{7}$$

$$C_{\max},\ P_{bm} \geq 0. \tag{8}$$

El objetivo (1) es minimizar el makespan. La restricción (2) indica que cada trabajo sólo puede procesarse exactamente en un lote y una máquina. La restricción (3) establece el tiempo de proceso en un lote como el tiempo mayor de entre los tiempos de proceso de los trabajos del lote. La restricción (4) limita el tiempo de los trabajos procesados en una máquina según la capacidad de las máquinas. El caso de la restricción (5) obliga a que un mismo utillaje no esté montado en mesas contiguas, algo imposible por tener sólo un utillaje por referencia. Además la restricción (6) determina el makespan para cada caso. Por último las restricciones (7) y (8) imponen que las variables que tienen que ser binarias o positivas.

Nota: dentro de la restricción (6) el término $U \cdot \sum_{b \in B} X_{bm}$ indica el tiempo de set-up al introducir un lote nuevo.

3.4- Algoritmo de resolución: pseudocódigo

En este apartado se explica el algoritmo de resolución propuesto para el problema de optimización. Como se ha visto en el apartado anterior este es un problema de secuenciación de clase NP. Para resolver este tipo de problemas se emplean métodos aproximados (Heurísticas) que, aunque no devuelvan una solución necesariamente óptima, proporcionan soluciones factibles (admisibles) cercanas al valor óptimo en un tiempo de cálculo razonable.

Una heurística adecuada para resolver el problema de optimización en los robots se denomina algoritmo de **recocido simulado** (SA: Simulated Annealing Algorithm). Este algoritmo pertenece a una clase de algoritmos de búsqueda local comúnmente llamada Algoritmos de Umbral. La idea original que dio lugar al SA proviene del estudio de las propiedades de equilibrio en el análisis del comportamiento microscópico de los cuerpos. Se fundamenta en el proceso físico de calentamiento de un sólido, seguido por un enfriamiento hasta lograr un estado cristalino con una estructura perfecta.

Esquemáticamente las ideas de un algoritmo SA son las siguientes:

- Se genera una solución inicial al azar y se evalúa su función objetivo $F_{actual.}$
- Se genera una nueva solución y se evalúa su costo $F_{nueva.}$
- El criterio de aceptación de la nueva solución es:
  - Si la nueva solución es mejor que la antigua ($F_{nueva} - F_{actual} < 0$) se acepta la nueva.
  - Si es peor, se genera un número aleatorio random() entre 0 y 1 y se
  - acepta la nueva solución si se cumple que:

    $$random( ) < \exp\{ (F_{nueva} - F_{actual})/T\}$$

  - Es decir, si la temperatura es alta, hay una alta probabilidad de aceptar malas soluciones. Y si es la temperatura es baja la probabilidad también es baja.
  - La probabilidad de aceptación de una solución disminuye cuanto peor sea esa solución.
- El criterio de parada puede ser:
  - Si la función objetivo ha llegado a un valor aceptable
  - Si se ha alcanzado el valor final de la temperatura
  - Si el usuario se aburrió (manualmente)
- Hay que decidir una temperatura inicial (T_i), una temperatura final (Tf) y una fórmula de enfriamiento.

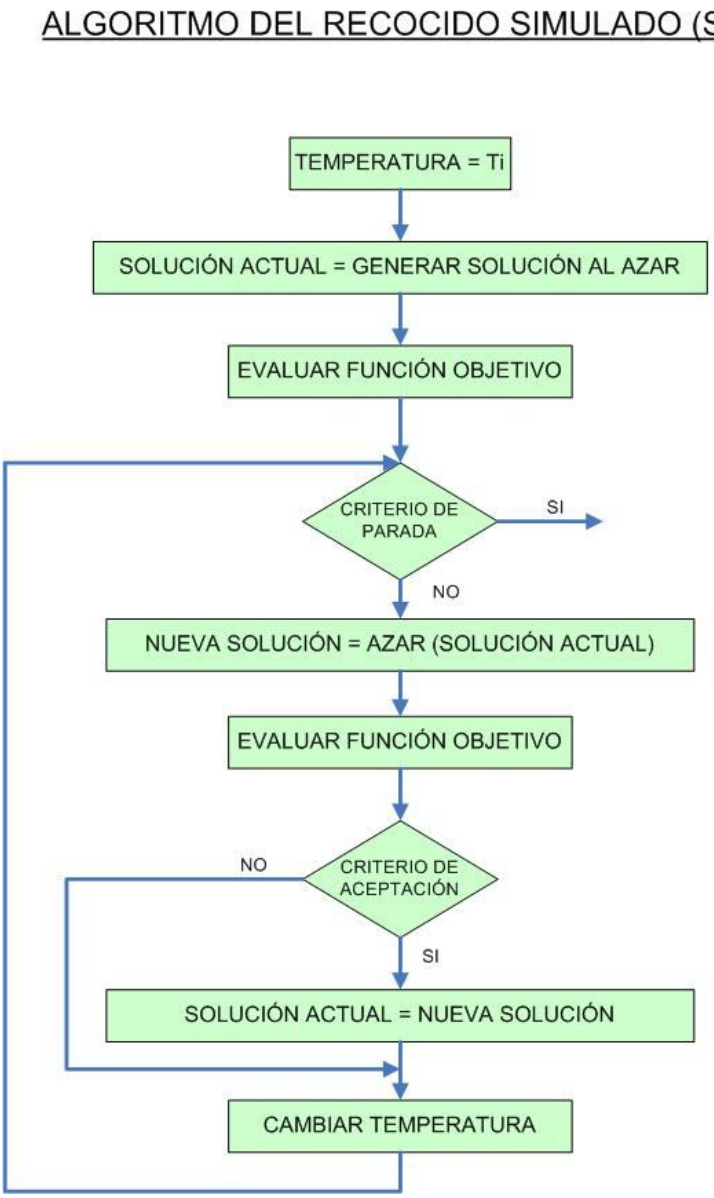


Figura 25: Diagrama de flujos general del recocido simulado

3.4.1- Aplicación del recocido simulado (SA) al problema de los robots

Existen diferentes variantes del SA según el problema al que se aplique. En este apartado, siguiendo a Chang, Damodaran, y Melouk (2004), se explica el algoritmo SA propuesto para optimizar la secuenciación de los trabajos en los robots de soldadura.

Al tratarse de un algoritmo de búsqueda local se elige una solución inicial aleatoriamente y después se genera una solución vecina mediante algún mecanismo. Si la solución vecina es mejor que la actual solución, esta es reemplazada; de lo contrario, se conserva la solución actual. El proceso es repetido hasta que no se encuentre una solución vecina mejor a la actual. Esta forma de evolucionar hacia una solución hace posible que el algoritmo termine en un óptimo local, no llegando a una solución aceptable. El recocido simulado evita estos fallos en el óptimo local mediante aceptaciones, con cierta probabilidad, de soluciones vecinas no mejores a la actual. La probabilidad de aceptar una solución no mejorada es calculada en este caso utilizando la función $exp\{(C_{max} - C'_{max})/T\}$, donde C_{max} es el valor de la función objetivo (makespan) actual, C'_{max} es el valor objetivo de la solución vecina y T es el parámetro de control que denota la temperatura análogamente al proceso físico de recocido de un material. También se usa un ratio (o velocidad) de enfriamiento, r, para reducir la temperatura del proceso de recocido.

El valor inicial (T_0) de T es elegido mediante experimentos preliminares entre los posibles valores para T_0. Se determinan el mejor ($C_{\max}^{mejor}$) y el peor ($C_{\max}^{peor}$) valor del makespan para 10.000 iteraciones y se elige T_0 tal que $exp\{(C_{\max}^{mejor} - C_{\max}^{peor})/ T_0\} = 1$. De esta forma, la posibilidad de que sea un mínimo local no deseado se advierte durante los pasos iniciales del algoritmo. El ratio de enfriamiento determina la velocidad a la que la temperatura es reducida. Un pequeño ratio de enfriamiento (por ejemplo 0,01) implica cambios pronunciados en la temperatura, sin embargo un ratio de enfriamiento alto (0,99) implica cambios graduales en la temperatura. Tras varias pruebas experimentales se determina r=0,9 como una buena opción para el algoritmo de secuenciación en los robots.

Para obtener una solución inicial de secuenciación de los trabajos en los robots, se siguen los siguientes pasos:

1) Se elige una primera secuenciación de los trabajos aleatoriamente.
2) Los trabajos de esta primera secuenciación se agrupan por lotes respetando las restricciones de capacidad y de utillajes de las máquinas (un utillaje por referencia).
3) Se obtiene una lista ordenada de los lotes según la regla del tiempo de proceso más largo (LPT: Longest Processing Time). Regla utilizada con éxito en problemas de este tipo, que consiste ordenar decrecientemente según el tiempo de proceso (primero el lote de mayor tiempo de proceso).
4) En el instante inicial, los primeros 3 lotes de la lista ordenada LPT se asignan a cada una de las 3 máquinas-robots. Después, a medida que una máquina queda libre, el siguiente lote de la lista LPT aún sin secuenciar se asigna a dicha máquina.
5) Finalmente se calcula el makespan.

Para obtener una solución vecina, un trabajo *j'* del el lote *b'*con el tiempo de proceso más largo, es intercambiado con un trabajo *j* del lote *b* sólo cuando $p_j < p_{j'}$. Obviamente dicho cambio tiene que respetar las restricciones de capacidad y utillajes. Después de este cambio, el tiempo de proceso en el lote cambia, resultando un nuevo orden de los lotes.

Capítulo 4- Aplicación informática para la gestión de la producción

4.1- Introducción

En este capítulo se explica el desarrollo de un programa informático para la gestión de la producción en la fábrica de estructuras metálicas de sillería y se trata las funciones o aplicaciones que tiene dicho programa a la vez que se explica su manejo. Esta es una aplicación informática para ser utilizada en la oficina del departamento de producción de la fábrica de estructuras, por lo que se diseña a medida según las necesidades de este departamento y del proceso de fabricación que tiene lugar en esta fábrica. Como se vio en el apartado 2.2, existen varios problemas o puntos de mejora en la actual gestión de la producción que llevan a la elaboración de un programa informático como base para resolver dichos problemas, esto se detallan a continuación:

- El acceso a la información sobre los procesos de la fábrica. Se necesita una herramienta que disponga de una manera eficiente de la información sobre todos los procesos que se realizan el la fábrica :
  - lista de materiales de cada referencia de estructura de silla
  - procesos a realizar a cada pieza
  - tiempos de cada proceso
  - medidas de longitud, espesor, diámetro, …
  - otros
- Gestión de las órdenes de producción. Se necesita que esta aplicación resuelva de una manera rápida diversas tareas de gestión de la producción:
  - lanzamiento de listados de producción para los demás procesos del sistema productivo de la fábrica
  - lanzamiento de listados de control que sirvan de apoyo para el control de la producción

- elaboración de las órdenes de producción de los robots de soldadura, optimizadas siguiendo los pasos del capítulo 3

Para el desarrollo de esta aplicación se han utilizado los siguientes recursos o lenguajes de programación según cada una de las fases del desarrollo. Se ha buscado el compromiso entre la sencillez de las herramientas utilizadas y su alcance o capacidad para cumplir con las exigencias de este proyecto.

- Base de datos: Microsoft Access 2000, es un sistema de gestión de base de datos relacionales que permite almacenar y recuperar información, de acuerdo con las relaciones que se hayan establecido, en las tablas de la base de datos. Access es una herramienta con gran facilidad para almacenar, mostrar y acceder a la información en forma de datos. Para el problema que se pretende resolver hay registrados unos 1.000 procesos distintos cada uno de ellos con entre 10 y 12 datos necesarios, esto significa que la base de datos tendrá del orden de decenas de miles de registros (de 10.000 a 20.000 en principio). Access 2000 tiene capacidad de almacenamiento de hasta 2 GB para una base de datos, que supone una capacidad holgada para el problema a resolver. Además, respecto a la rapidez de acceso a datos y de realización de operaciones, se verá que para resolver el problema de optimización de los robots sólo son necesarios unos cuantos cientos de datos con los que trabajará el algoritmo de optimización (bucles, búsquedas,…). Por lo tanto, Access 2000 es una herramienta viable para este proyecto.
- Programación de la aplicación: Visual Basic 6.0, es un lenguaje de programación visual también llamado de 4ª generación. Esto facilita en gran medida muchas tareas sencillas que se pueden realizar sin escribir código. Es también un lenguaje basado en objetos con sus propiedades y métodos (aunque no es orientado a objetos como C++ o Visual Basic.NET). Visual Basic 6.0 es un

lenguaje que, comparado con otros, permite el desarrollo de aplicaciones complejas en poco tiempo. Además es un lenguaje que funciona bajo el sistema operativo Windows y contiene características adecuadas para el trabajo con distintos tipos de bases de datos, en particular con Microsoft Access. Como contrapartida, Visual Basic 6.0 es un lenguaje menos potente que otros como C++ o Java a la hora de realizar aplicaciones y algoritmos complejos.

- Enlace de la aplicación con la base de datos: SQL (Structured Query Language), es un lenguaje de consulta a bases de datos normalizado utilizado por diferentes motores de bases de datos para realizar operaciones sobre los datos o sobre la estructura de los mismos. En particular, se utiliza SQL en este proyecto para realizar consultas y operaciones de una manera eficaz entre la aplicación Visual Basic y la base de datos Access.

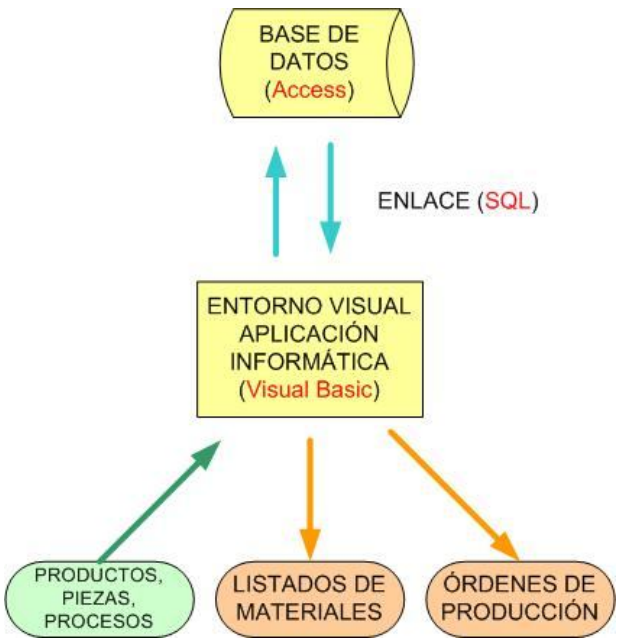


Figura 26: Esquema de los lenguajes utilizados

4.2- Diseño de la base de datos

En este apartado se muestra el proceso seguido para el diseño de la base de datos que utilizará la aplicación informática así como su resultado final. Antes de continuar, se define el propósito de la base de datos y las principales necesidades que debe cubrir:

- Debe contener toda la información que necesite la aplicación informática para el desarrollo de sus funciones (lanzamientos de órdenes de fabricación, listados de materiales, …).
- Esta información debe almacenarse de una manera eficiente para el correcto funcionamiento de la aplicación.

Seguidamente se enumeran los datos que forman el conjunto de la información necesaria para el manejo de las entradas (productos, piezas, procesos) y salidas (listados de materiales, órdenes de fabricación) de la aplicación:

- Referencia del producto final (estructura).
- Unidades de cada referencia que caben en el utillaje de los robots de soldadura (para la optimización de las órdenes de producción en los robots).
- Descripción de cada pieza y relación con su referencia de producto.
- Longitud, espesor o diámetros de cada pieza.
- Definición del acabado cromo o pintado de la estructura.
- Número de unidades de cada pieza por producto.
- Definición de pieza conjunto en su caso (conjunto de piezas que forman el producto final.
- Procesos a realizar sobre cada pieza o pieza conjunto.
- Tiempo de los procesos sobre cada pieza (para la optimización de las órdenes de producción).

4.2.1- Diseño conceptual: modelo Entidad-Relación

El modelo Entidad-Relación (E/R) es una de las formas más utilizadas para el diseño de una base de datos eficiente que garantice la definición de la información de forma precisa y consistente. El modelo E/R permite describir la realidad mediante un conjunto de representaciones gráficas y lingüísticas utilizando conceptos como los de entidad, relación o atributo. Además el uso de este modelo implica la normalización de la base de datos, eliminando información redundante, reduciendo el tamaño de la base de datos y simplificando las consultas. A ser este un tema introductorio, se encuentra reflejado en la mayoría de los textos sobre bases de datos(véase por ejemplo D'Andrea, 2006, capítulos 1 y 2).

A continuación se realiza una descripción a nivel conceptual de la base de datos empleada (diagrama E/R). La base de datos está compuesta por los siguientes elementos:

- La entidad PRODUCTO, cuyos atributos son tres:
  - *id_producto*: referencia del mismo
  - *descripcion_producto*: breve descripción que identifique fácilmente al producto
  - *uds_utillaje*: número de estructuras que caben en cada utillaje de los robots
- La entidad PIEZA, compuesta por los siguientes atributos que definen cada pieza:
  - *id_pieza*: código que identifica unívocamente a cada pieza
  - *id_producto*: relaciona cada pieza con su producto
  - *descripcion_pieza*: breve descripción de la pieza
  - *longitud*
  - *espesor*
  - *medida1*: corresponde al diámetro 1 para tubos o al ancho para piezas rectangulares y pletinas

  - *medida2*: corresponde al segundo diámetro para tubos elípticos, ovales o rectangulares
  - *acabado*: indica si la pieza lleva acabado cromo o pintado (recuérdese que el tubo tenía distinta composición de aceite antioxidante según fuera para cromar o para pintar)
  - *unidades*: indica el número de piezas que lleva cada producto
  - *conjunto*: indica si la pieza es individual o si está formada por un conjunto de piezas unidas y procesadas a la vez
- La entidad PROCESO, compuesta por cuatro atributos:
  - *id_proceso*: código que identifica unívocamente cada proceso a realizar
  - *id_pieza*: relaciona cada proceso con una pieza determinada
  - *tiempo*: indica el tiempo de cada proceso
  - *descripcion_proceso*: tipo de proceso que se le realiza a cada pieza

En la figura 27 se representa el diagrama del modelo Entidad/Relación (entidades, atributos, relaciones y cardinalidades máximas y mínimas) empleado para el diseño de la base de datos.

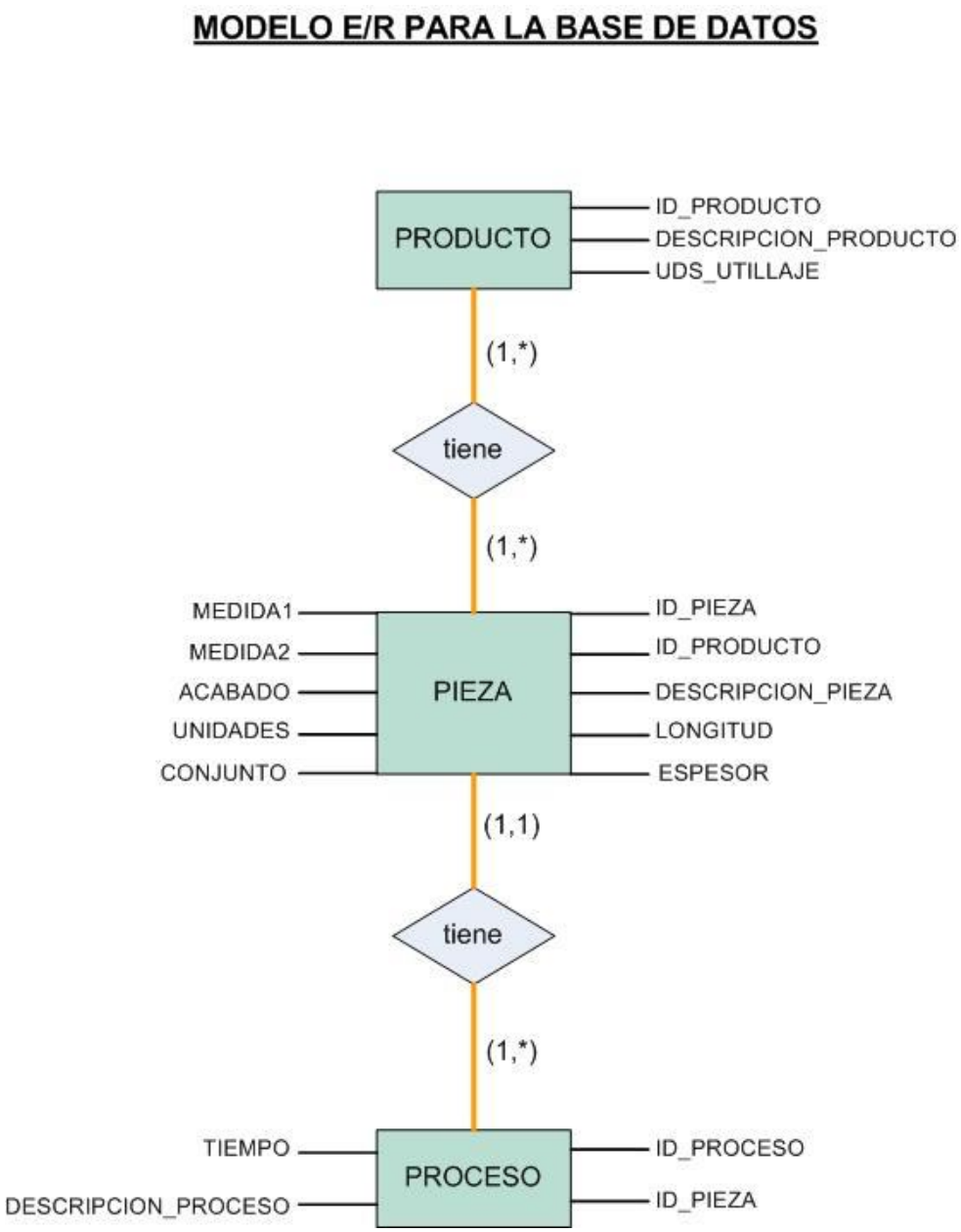


Figura 27: Modelo Entidad/Relación para la base de datos a desarrollar

4.2.2- Diseño lógico y físico de la base de datos

Consecuentemente con el apartado anterior, a la hora de traducir este modelo al nivel lógico en el diseño de una base de datos, se generan tres tablas, una por cada entidad en este caso, con sus campos y claves primarias y

secundarias. Formalmente, la base de datos generada a partir del modelo E/R e implementada en Access es la siguiente:

Tabla **Producto**{id_producto, descripcion_producto, uds_utillaje}

Clave interna: id_producto

Tabla **Pieza** {id_pieza, id_producto, descripcion_pieza, longitud, espesor, medida1, medida2, acabado, unidades, conjunto}

Clave interna: id_pieza

Clave externa: id_producto referenciando a id_producto en la tabla Producto

On update cascade

On delete no action

Clave externa: id_pieza referenciando a id_pieza en la tabla Proceso

On update cascade

On delete no action

Tabla **Proceso** {id_proceso, id_pieza, tiempo, descripcion_proceso}

Clave interna: id_proceso

- El resultado del diseño físico de la base de datos en Access se puede analizar en el disco adjunto a este proyecto, el archivo está grabado bajo el nombre de *DBPROSS.mdb*.

4.3- Diseño y descripción de la aplicación informática

En este apartado se analiza el diseño de la aplicación informática para resolver el problema, se muestra la solución adoptada y se explica brevemente el funcionamiento y uso de dicha aplicación.

Dentro de la metodología para el diseño de esta aplicación o programa informático ya han sido dados los dos primeros pasos en apartados anteriores. En primer lugar, se ha realizado un estudio detallado del problema de información de procesos y de lanzamiento de órdenes de producción en la fábrica de estructuras (capítulo 2), así como de las soluciones a adoptar. En segundo lugar se ha procedido a evaluar y analizar distintas técnicas informáticas y su grado de adecuación al problema en cuestión, dando como resultado la utilización de Visual Basic 6.0 como herramienta para el diseño de la interfaz de usuario y SQL como lenguaje de enlace entre la interfaz de usuario y la base de datos diseñada anteriormente.

Se ha buscado el desarrollo de una interfaz amigable, interactiva y fácil de usar. Se trata de una aplicación basada en el entorno Windows con ventanas, botones y cuadros de texto que faciliten la interacción del usuario con la aplicación.

En el disco adjunto a este documento se puede analizar la solución adoptada a nivel de programación con los numerosos conceptos y características de Visual Basic 6.0 empleados. Los archivos y formularios están ubicados en la carpeta *"Código y formularios"* y es necesario el uso de un entorno de desarrollo Visual Basic para su lectura.

En los siguientes apartados se muestra la interfaz de usuario de esta aplicación y se explican las funciones y el manejo de cada menú. El nombre de adoptado para el programa es el de **ProSS**, y se puede analizar en el disco adjunto a este documento en el fichero ejecutable *ProSS.exe*. Para ejecutar dicho programa correctamente, tanto el fichero ProSS.exe como la base de datos DBPROSS.mdb deben de copiarse el la unidad C:\ del ordenador del usuario.

4.3.1- Menú principal

El programa tiene de un menú principal a través del cual se puede acceder en todo momento a los dos módulos diferenciados de que consta ProSS:

- *Gestión de la Base de Datos*: a través de este submenú se accede a las opciones relacionadas con la gestión de la base de datos. Se puede dar de alta un producto nuevo añadiéndolo de esta forma a la base de datos o se puede modificar un producto existente en la base de datos.
- *Órdenes de Producción*: a través de este submenú se accede a las opciones para generar bien listados y órdenes de producción.

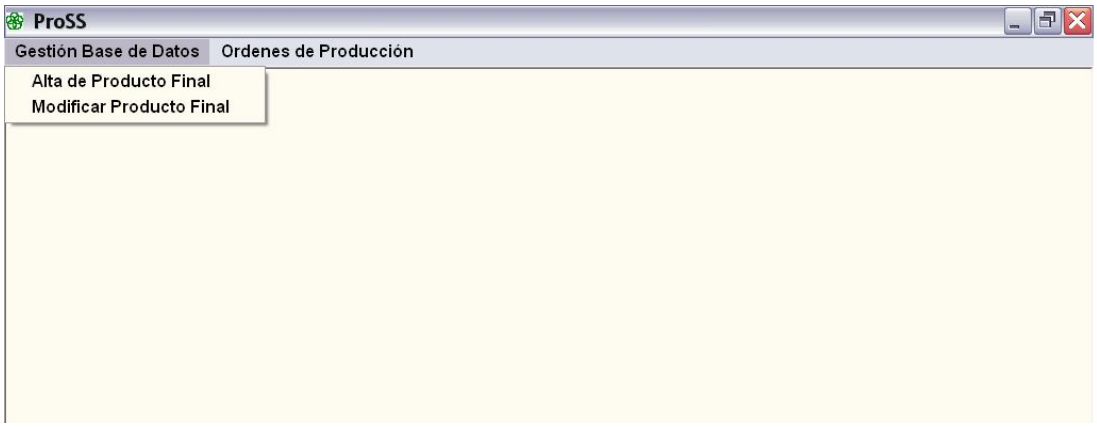


Figura 28: Pantalla del menú principal de ProSS

4.3.2- Módulo Gestión de la Base de Datos

4.3.2.1- Alta de Producto Final

A través de esta opción se accede a las ventanas que permiten dar de alta un producto final en la base de datos DBPROSS, es decir, introducir un nuevo producto (estructura metálica) con toda la información sobre sus piezas y procesos.

Al picar con el ratón sobre la opción *Alta de Producto Final*, los campos a rellenar son:

- *Referencia Producto*: hay que introducir un número que identifique unívocamente a cada producto en el resto del proceso. Este número esta compuesto por siete cifras. Las 5 primeras indican el código que tiene la silla a la que hace referencia en el catálogo general de la empresa. Las 2 últimas cifras deben indicar la opción del tipo de estructura a la que se refiere, ya que una misma silla para la fábrica de montaje puede tener distintas estructuras que se fabrican y envían de forma independiente y que son productos finales distintos para la fábrica de estructuras (puede ser la estructura de la silla, del brazo de la silla, del chasis del respaldo, del chasis del asiento,…). Tanto en este como en el resto de campos, ProSS impide la introducción de tipos de datos erróneos, en este caso no se permite la introducción de letras o números de más de 7 cifras.
- *Descripción Producto*: campo en el que se debe introducir una breve descripción o nombre del producto que permita la fácil identificación de dicho producto por el usuario.
- *Unidades por utillaje robot:* se debe introducir el número de estructuras que caben en un utillaje para soldadura con los robots, es un dato necesario para la futura optimización de los robots y que va ligado a cada referencia de estructura. Se debe poner ‘0’ en caso de que dicha estructura aún no disponga de utillaje para ser soldada en los robots.

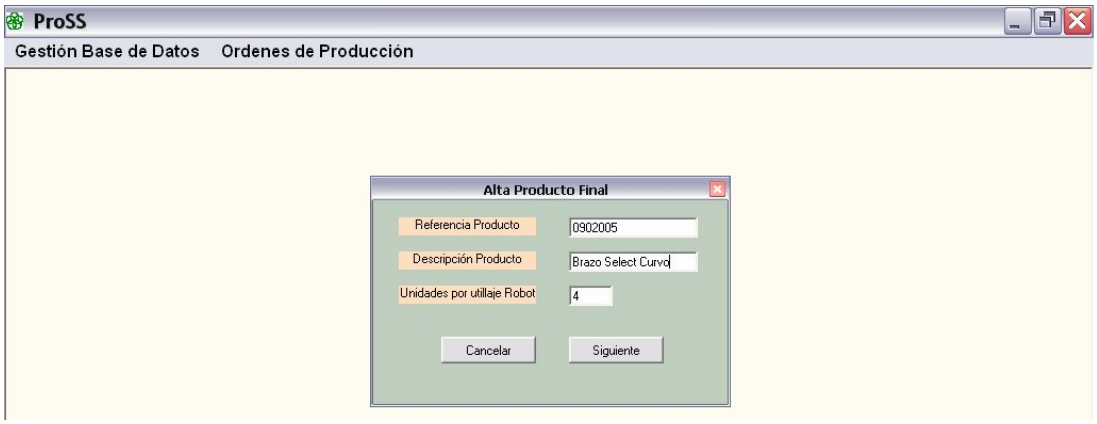


Figura 29: Pantalla inicial del alta de un producto final

En todo momento durante el programa, se puede pulsar el botón *Cancelar* o directamente cerrar la ventana para abortar la tarea que se esté realizando. Para continuar con el proceso de alta del producto hay que picar sobre el botón *Siguiente.* A continuación aparece una ventana para introducir los datos de la primera pieza del producto final, los campos a rellenar son:

- *Descripción de la pieza:* breve descripción o nombre de la pieza.
- *Longitud:* medida de la longitud de la pieza.
- *Espesor:* medida del espesor de la pieza. Tanto para este como para los demás campos, debe de utilizarse la 'coma' como separador decimal para los números.
- *Medida1 (diámetro/ancho).*
- *Medida2 (diámetro2).*
- *Unidades por producto:* número de piezas de este tipo que componen al producto dado de alta.
- *¿Acabado Cromo?:* se debe marcar en caso de que la pieza (estructura final) lleve acabado cromo. Dejar sin marcar para las piezas pintadas.
- *¿Pieza Conjunto?:* se debe marcar cuando la pieza es un conjunto formado por la unión de varias piezas anteriores. Se necesita identificar este tipo de piezas normalmente para indicar los procesos a realizar sobre las estructuras finales.

Figura 30: Pantalla para insertar una pieza

Al pulsar sobre el botón **Siguiente** se accede a la ventana de introducción de los procesos realizados a la pieza anteriormente descrita. Se deben marcar cada uno de los procesos por los que pase dicha pieza e indicar el tiempo que se tarda en realizar cada uno de los procesos. Es importante comentar que aquellos procesos que impliquen a dos o más piezas independientes (soldadura y procesos posteriores) sólo deben indicarse dichos procesos para las piezas conjunto y no para las piezas por separado, de lo contrario se estarían duplicando procesos y tiempos. Los procesos son todos los descritos en el capítulo 1: Corte Manual, Corte Automático, Curvado, Prensa Hidráulica, Prensa Mecánica, Soldadura Manual, Soldadura Robots, Taladrado, Pulido, Cromado, Pintado y Embalaje. Al marcarse un proceso aparece un campo para introducir el tiempo de dicho proceso.

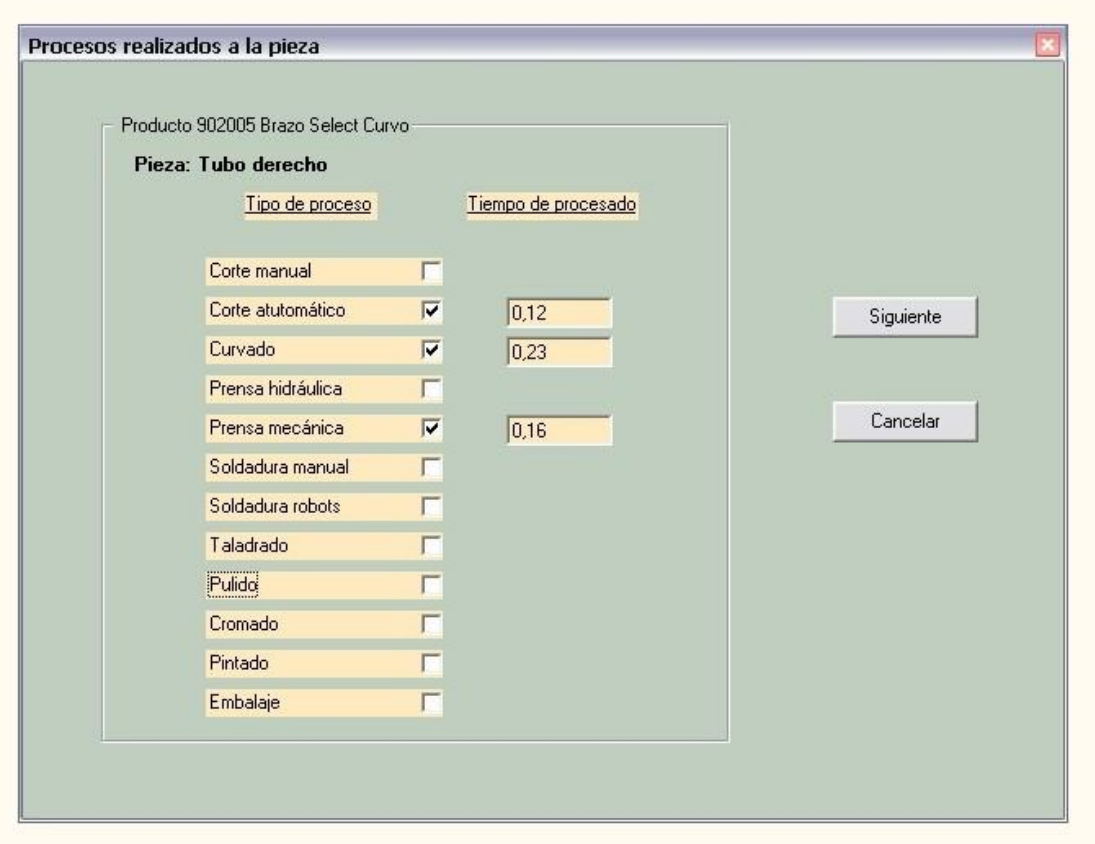


Figura 31: Pantalla para insertar los procesos de cada pieza

Al picar sobre el botón *Siguiente* aparece una pantalla de confirmación de los datos introducidos hasta el momento, tanto de la última pieza como de sus procesos. Hasta este instante los datos aún no se han insertado físicamente en la base de datos, esto ocurre en el momento en que se pulse alguno de los botones de confirmación. En caso de pulsar el botón *Cancelar pieza* se abortará el insertado de dicha pieza en DBPROSS. Existe ahora la opción de *Confirmar pieza y añadir nueva* para seguir introduciendo piezas y procesos para el producto final. Este procedimiento se seguirá hasta que se introduzcan todas las piezas de que se componen el producto, en cuyo caso se debe pulsar el botón *Confirmar pieza y terminar producto*. Con esto se da por finalizada el alta de un producto en la base de datos DBPROSS y está disponible para su posterior consulta y utilización.

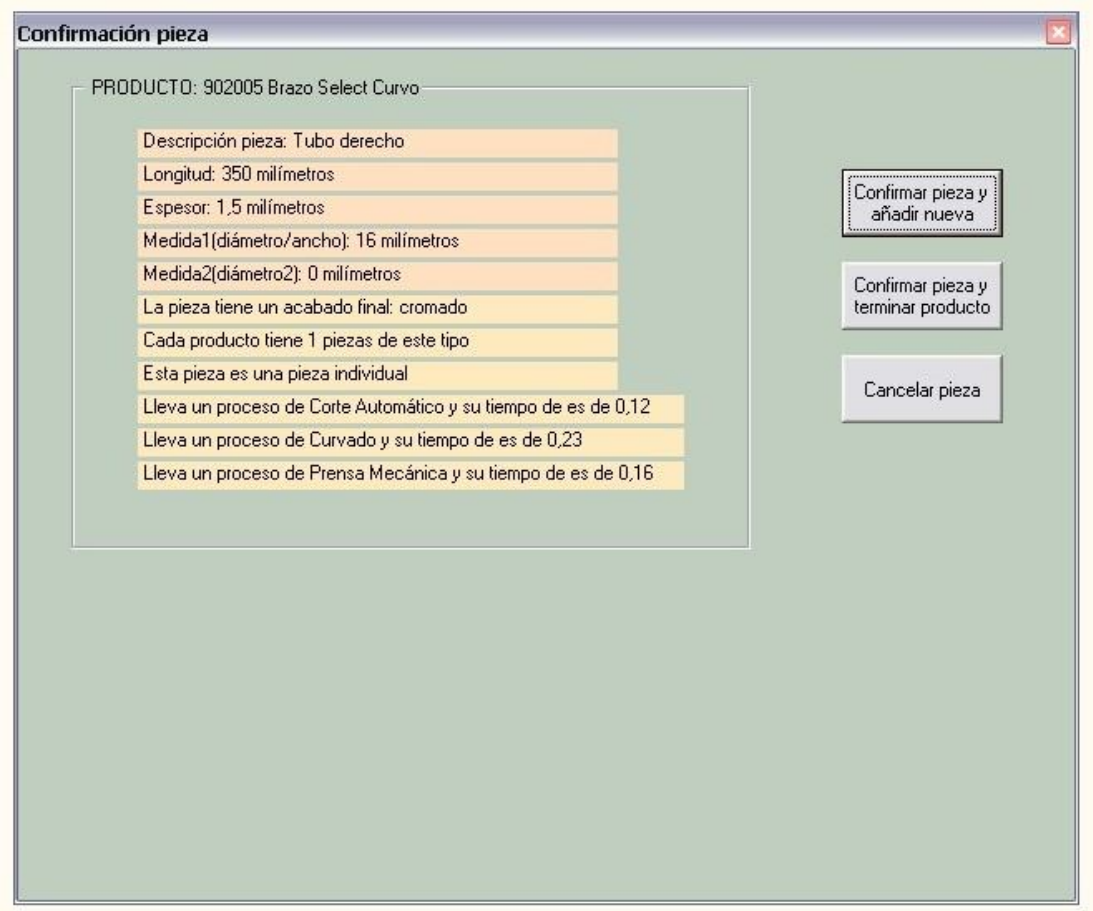


Figura 32: Pantalla de confirmación de una pieza

4.3.2.2- Modificación de un producto

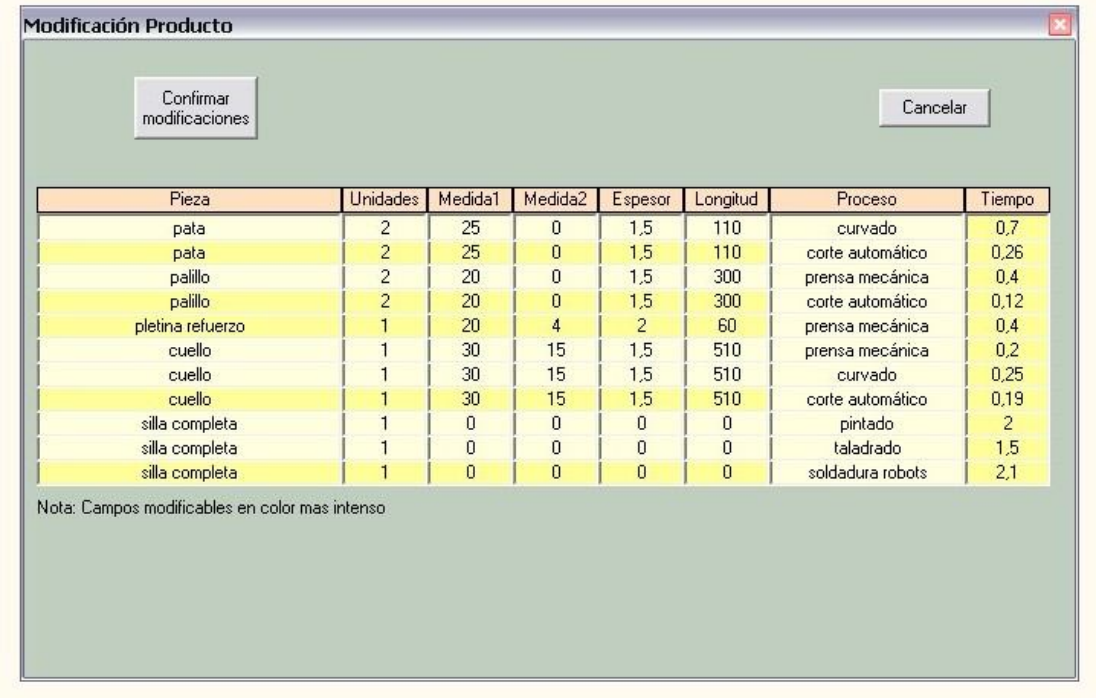
Dentro del módulo de Gestión de la Base de Datos también se puede realizar la modificación de los datos (piezas y procesos) de un producto anteriormente almacenado en DBPROSS. Para ello, al picar en *Modificar Producto Final* desde el menú principal se accede a una pantalla que permite introducir la referencia del producto a modificar[1]. Automáticamente, si la referencia es correcta, aparecen la descripción y el número estructuras por utillaje, campos modificables. En caso de que la referencia no coincida con ninguna de las almacenadas en la base de datos, el programa ProSS avisa de este problema e impide seguir con el proceso. Los cambios se harán efectivos

[1] Para hacer pruebas de la aplicación con la base de datos entregada con el disco adjunto, se pueden utilizar las referencias 0006801 y 0006802 cuyas piezas y procesos están incluidos en DBPROSS.

en la base de datos en el momento que se pulse el botón *Siguiente* para acceder a la siguiente ventana.

Figura 33: Pantalla para la modificación de un producto

En la siguiente pantalla que aparece se muestran todos los datos almacenados referentes al producto a modificar. Se indican en una tabla las todas las piezas con sus datos y repetidas tantas veces como procesos lleve la pieza. De esta forma se pueden modificar los datos de las piezas y tiempos de procesos al mismo tiempo. Los datos modificables son aquellos que aparecen señalados en un color amarillo más intenso (no tiene indicar dos espesores distintos para una misma pieza).



Pieza	Unidades	Medida1	Medida2	Espesor	Longitud	Proceso	Tiempo
pata	2	25	0	1,5	110	curvado	0,7
pata	2	25	0	1,5	110	corte automático	0,26
palillo	2	20	0	1,5	300	prensa mecánica	0,4
palillo	2	20	0	1,5	300	corte automático	0,12
pletina refuerzo	1	20	4	2	60	prensa mecánica	0,4
cuello	1	30	15	1,5	510	prensa mecánica	0,2
cuello	1	30	15	1,5	510	curvado	0,25
cuello	1	30	15	1,5	510	corte automático	0,19
silla completa	1	0	0	0	0	pintado	2
silla completa	1	0	0	0	0	taladrado	1,5
silla completa	1	0	0	0	0	soldadura robots	2,1

Figura 34: Pantalla para modificar las piezas y procesos de un producto

Para confirmar las modificaciones sólo hay que pulsar sobre el botón Confirmar modificaciones y los cambios serán grabados en la base de datos apareciendo un mensaje de confirmación.

Como conclusión, hay que indicar que este módulo y el uso de la base de datos DBPROSS hace posible en tener toda la información sobre los procesos y piezas almacenados correctamente y fácilmente actualizables, siendo esta una de las soluciones de mejora propuestas en el proyecto.

4.3.3- Módulo Órdenes de Producción

Una vez visto como se introducen y modifican datos en DBPROSS.mdb (entrada de datos), se pasa a explicar el módulo sobre las órdenes de producción (salida de datos).

Accediendo a la opción *Listado de Producción (Necesidades Brutas)* desde el menú principal se pueden obtener listados que basados en las Necesidades

Brutas de fabricación, ya que en ningún momento se cuenta con el stock existente en la fábrica. Los datos a introducir necesarios para generar un listado de producción son:

- Referencia Producto Final
- Cantidad a fabricar

Por un lado se introduce una referencia que se ha decidido fabricar o de la que se busca su lista de materiales y procesos, por otro lado se indica la cantidad que se desea fabricar o consultar. A medida que se introduce una referencia y cantidad se debe pulsar el botón *Añadir producto al listado* para que quede registrado en el listado de fabricación a generar. Las referencias que se van añadiendo se muestran en una tabla bajo el nombre *Listado de producción* (listado provisional), igualmente se puede eliminar la ultima referencia y cantidad añadida.

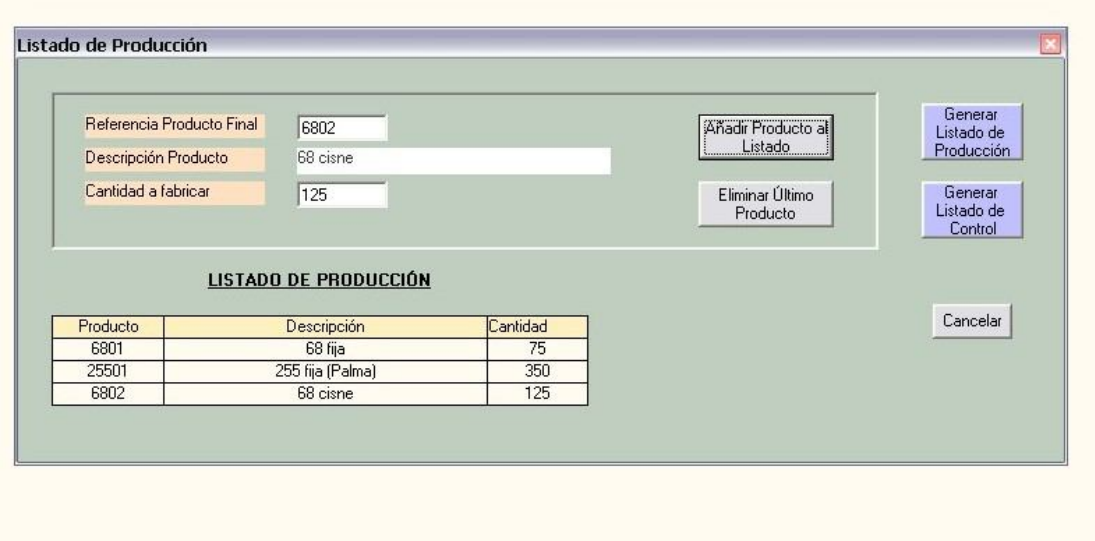


Figura 35: Pantalla para añadir referencias y cantidades al listado de producción

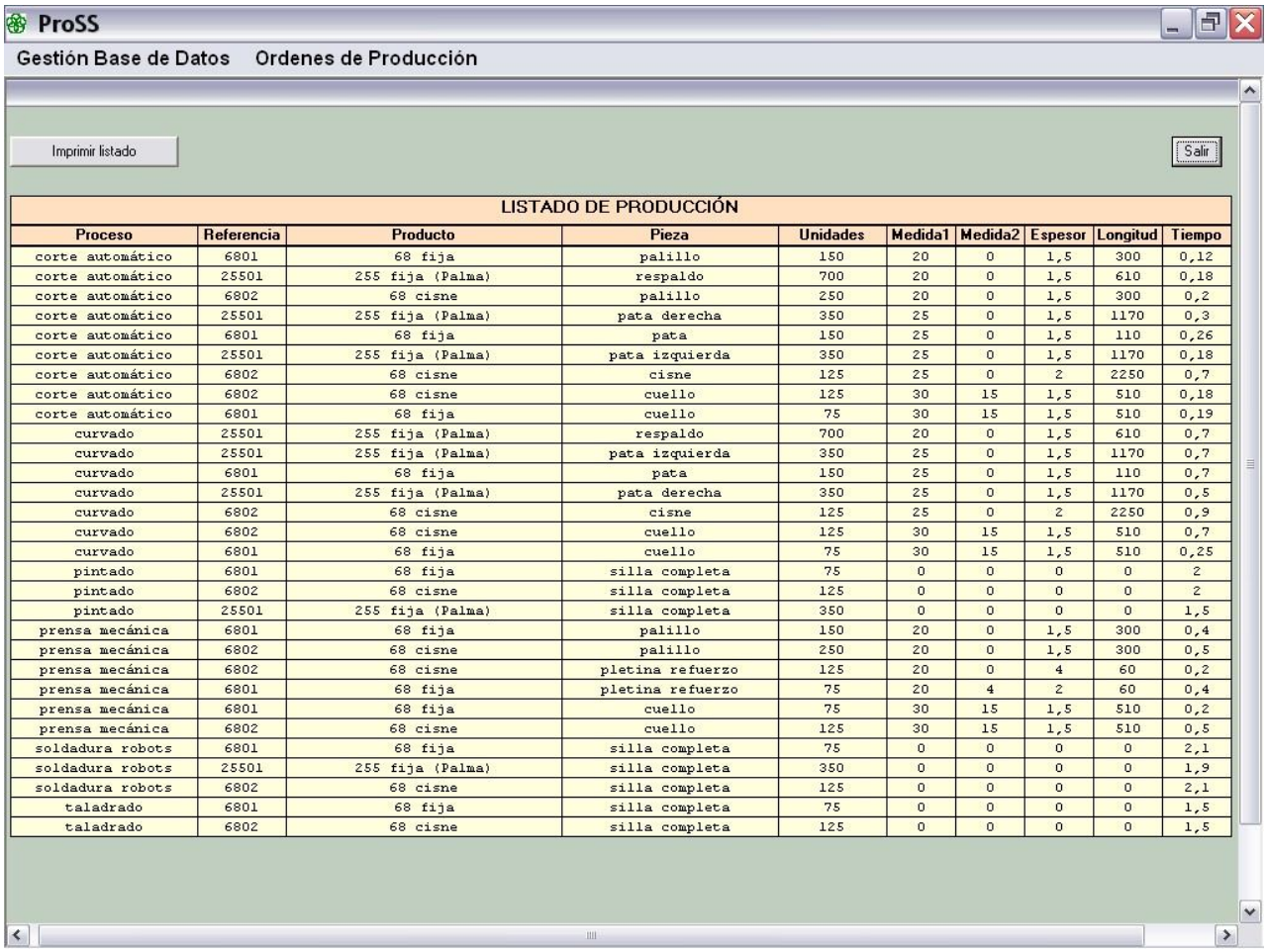
Una vez que se tienen añadidos todos los datos, se pueden generar dos tipos de listados según las necesidades del usuario:

- **Listado de producción**: este listado muestra todos los procesos y piezas a fabricar según las referencias y cantidades añadidas, con todos los datos de medidas, tiempos y cantidades a fabricar de cada pieza. El listado de producción aparece ordenado en primer lugar por tipo de

proceso, de manera que constituye una orden de fabricación diferenciada para cada centro de trabajo de la fábrica. En segundo lugar, las piezas a fabricar se ordenan por medidas de diámetros y espesores, esto constituye en sí una orden de producción adecuada para los procesos de corte y curvado. Se recuerda que la forma de secuenciar los trabajos en las máquinas de corte y curvado era ordenando por tipo de tubo de manera que no existieran demasiados tiempos de set-up en las máquinas, la tarea de ordenar todas las piezas por diámetros y espesores las realizaba el responsable de producción manualmente. Ahora, ProSS realiza esta tarea automáticamente con los listados de producción.

- **Listado de control**: este listado muestra los mismos datos que el listado de producción pero ordenados de forma distinta, en este caso se ordenan por producto final. De esta forma, se pueden visualizar de una manera fácil y rápida todas las piezas y procesos que lleva cada producto. Esto supone una mejora en el control de la producción, ya que facilita al responsable de producción las tareas de seguimiento del Work In Process y del estado de fabricación de cada producto (tachando por ejemplo los procesos a medida que se van finalizando). Además, se puede utilizar esta herramienta para consultar rápidamente la lista de materiales de un producto (escandallo), realizar previsiones, etc.

Al picar sobre el botón *Generar Listado de Producción* aparece en la pantalla el listado tal y como se muestra en la Figura 36.

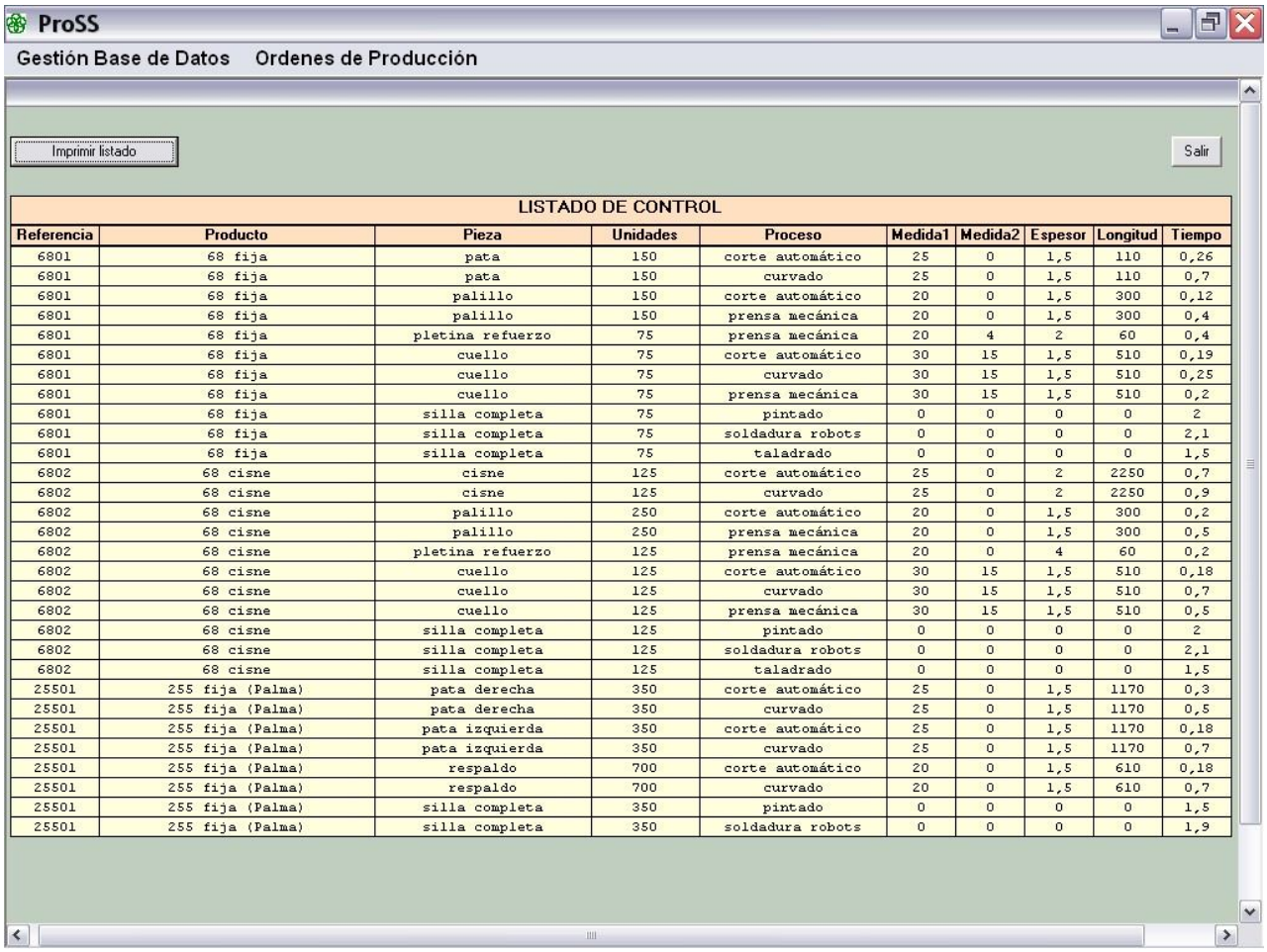


LISTADO DE PRODUCCIÓN

Proceso	Referencia	Producto	Pieza	Unidades	Medida1	Medida2	Espesor	Longitud	Tiempo
corte automático	6801	68 fija	palillo	150	20	0	1,5	300	0,12
corte automático	25501	255 fija (Palma)	respaldo	700	20	0	1,5	610	0,18
corte automático	6802	68 cisne	palillo	250	20	0	1,5	300	0,2
corte automático	25501	255 fija (Palma)	pata derecha	350	25	0	1,5	1170	0,3
corte automático	6801	68 fija	pata	150	25	0	1,5	110	0,26
corte automático	25501	255 fija (Palma)	pata izquierda	350	25	0	1,5	1170	0,18
corte automático	6802	68 cisne	cisne	125	25	0	2	2250	0,7
corte automático	6802	68 cisne	cuello	125	30	15	1,5	510	0,18
corte automático	6801	68 fija	cuello	75	30	15	1,5	510	0,19
curvado	25501	255 fija (Palma)	respaldo	700	20	0	1,5	610	0,7
curvado	25501	255 fija (Palma)	pata izquierda	350	25	0	1,5	1170	0,7
curvado	6801	68 fija	pata	150	25	0	1,5	110	0,7
curvado	25501	255 fija (Palma)	pata derecha	350	25	0	1,5	1170	0,5
curvado	6802	68 cisne	cisne	125	25	0	2	2250	0,9
curvado	6802	68 cisne	cuello	125	30	15	1,5	510	0,7
curvado	6801	68 fija	cuello	75	30	15	1,5	510	0,25
pintado	6801	68 fija	silla completa	75	0	0	0	0	2
pintado	6802	68 cisne	silla completa	125	0	0	0	0	2
pintado	25501	255 fija (Palma)	silla completa	350	0	0	0	0	1,5
prensa mecánica	6801	68 fija	palillo	150	20	0	1,5	300	0,4
prensa mecánica	6802	68 cisne	palillo	250	20	0	1,5	300	0,5
prensa mecánica	6802	68 cisne	pletina refuerzo	125	20	0	4	60	0,2
prensa mecánica	6801	68 fija	pletina refuerzo	75	20	4	2	60	0,4
prensa mecánica	6801	68 fija	cuello	75	30	15	1,5	510	0,2
prensa mecánica	6802	68 cisne	cuello	125	30	15	1,5	510	0,5
soldadura robots	6801	68 fija	silla completa	75	0	0	0	0	2,1
soldadura robots	25501	255 fija (Palma)	silla completa	350	0	0	0	0	1,9
soldadura robots	6802	68 cisne	silla completa	125	0	0	0	0	2,1
taladrado	6801	68 fija	silla completa	75	0	0	0	0	1,5
taladrado	6802	68 cisne	silla completa	125	0	0	0	0	1,5

Figura 36: Pantalla de un listado de producción ejemplo

Al picar sobre el botón *Generar Listado de Control* aparece en la pantalla el listado tal y como se muestra en la Figura 37.



LISTADO DE CONTROL

Referencia	Producto	Pieza	Unidades	Proceso	Medida1	Medida2	Espesor	Longitud	Tiempo
6801	68 fija	pata	150	corte automático	25	0	1,5	110	0,26
6801	68 fija	pata	150	curvado	25	0	1,5	110	0,7
6801	68 fija	palillo	150	corte automático	20	0	1,5	300	0,12
6801	68 fija	palillo	150	prensa mecánica	20	0	1,5	300	0,4
6801	68 fija	pletina refuerzo	75	prensa mecánica	20	4	2	60	0,4
6801	68 fija	cuello	75	corte automático	30	15	1,5	510	0,19
6801	68 fija	cuello	75	curvado	30	15	1,5	510	0,25
6801	68 fija	cuello	75	prensa mecánica	30	15	1,5	510	0,2
6801	68 fija	silla completa	75	pintado	0	0	0	0	2
6801	68 fija	silla completa	75	soldadura robots	0	0	0	0	2,1
6801	68 fija	silla completa	75	taladrado	0	0	0	0	1,5
6802	68 cisne	cisne	125	corte automático	25	0	2	2250	0,7
6802	68 cisne	cisne	125	curvado	25	0	2	2250	0,9
6802	68 cisne	palillo	250	corte automático	20	0	1,5	300	0,2
6802	68 cisne	palillo	250	prensa mecánica	20	0	1,5	300	0,5
6802	68 cisne	pletina refuerzo	125	prensa mecánica	20	0	4	60	0,2
6802	68 cisne	cuello	125	corte automático	30	15	1,5	510	0,18
6802	68 cisne	cuello	125	curvado	30	15	1,5	510	0,7
6802	68 cisne	cuello	125	prensa mecánica	30	15	1,5	510	0,5
6802	68 cisne	silla completa	125	pintado	0	0	0	0	2
6802	68 cisne	silla completa	125	soldadura robots	0	0	0	0	2,1
6802	68 cisne	silla completa	125	taladrado	0	0	0	0	1,5
25501	255 fija (Palma)	pata derecha	350	corte automático	25	0	1,5	1170	0,3
25501	255 fija (Palma)	pata derecha	350	curvado	25	0	1,5	1170	0,5
25501	255 fija (Palma)	pata izquierda	350	corte automático	25	0	1,5	1170	0,18
25501	255 fija (Palma)	pata izquierda	350	curvado	25	0	1,5	1170	0,7
25501	255 fija (Palma)	respaldo	700	corte automático	20	0	1,5	610	0,18
25501	255 fija (Palma)	respaldo	700	curvado	20	0	1,5	610	0,7
25501	255 fija (Palma)	silla completa	350	pintado	0	0	0	0	1,5
25501	255 fija (Palma)	silla completa	350	soldadura robots	0	0	0	0	1,9

Figura 37: Pantalla de un listado de control ejemplo

En ambos casos, para imprimir dichos listado y sacarlos por la impresora configurada por Windows para el ordenador del usuario, basta con picar el botón *Imprimir listado.*

Capítulo 5- Conclusiones y futuras líneas de trabajo

5.1- Conclusiones

Las conclusiones que se han extraído de este Proyecto Fin de Carrera, pueden ser descritas esquemáticamente según los siguientes ítems:

- Se ha analizado detalladamente los aspectos operativos en la producción de estructuras metálicas de sillería en la fábrica bajo estudio. Análisis realizado tanto desde el punto de vista de los procesos físicos que tienen lugar en la fábrica, como desde el punto de vista de la gestión de la producción de la misma.

- Gracias a lo anterior, se han podido localizar diversos puntos a mejorar en la organización de la producción de la fábrica de estructuras metálicas de sillería, identificando los problemas a resolver y proponiendo soluciones viables para la empresa en cuestión.

- Se ha podido aplicar una nueva filosofía en la estrategia de producción hasta ahora no utilizada en la fábrica de estructuras, la Teoría de las Restricciones. Dicha filosofía ha sido adoptada por los directivos de la empresa y esta siendo implementada en la actualidad.

- Como consecuencia directa del punto anterior, se ha realizado un estudio para la optimización de las órdenes de producción en los robots de soldadura de la fábrica. De este modo se ha aplicando un algoritmo de resolución adecuado (SA) y se ha conseguido que los responsables de producción adopten nuevos conceptos en la elaboración de las órdenes de producción de los robots.

- Se ha programado una aplicación informática para la gestión de la producción. Esta aplicación tiene gran utilidad para los responsables de producción, tanto por la información que se puede almacenar en su base de datos como por el lanzamiento de listados de fabricación y de control.

5.2- Futuras líneas de trabajo

La principal línea de trabajo que se extrae de este proyecto es la implantación del algoritmo para la optimización de los robots en un sistema informático que la ejecute automáticamente. En la actualidad, la empresa estudiada trabaja con un Sistema de Información integrado y diseñado por el Departamento de Informática de la propia empresa. Dicho sistema no dispone de las utilidades ni de la información que el programa ProSS suministra para el departamento de producción de estructuras, sin embargo tiene mayor potencia para la realización de cálculos combinatorios y aplicaciones complejas. Esto es debido al uso de servidores de alto rendimiento y del lenguaje Java (más potente que Visual Basic). Por lo tanto, la implementación de las ideas de este proyecto en el Sistema de Información integrado de la empresa es una interesante línea de trabajo futura.

Además, otras futuras líneas de trabajo son: la gestión de stocks de estructuras metálicas, la realización de un estudio de mercado (reducción de referencias a fabricar) o el estudio de viabilidad de una línea de fabricación auxiliar.

BIBLIOGRAFÍA

BALENA, F. (2000): *Programación avanzada con Microsoft Visual Basic 6.0.* Mc Graw Hill. (Microsoft Coporation.Wahington. EE.UU.).

BENJAORAN, V., DAWOOD, N. and HOBBS, B. (2005): Flowshop scheduling *model for bespoke precast concrete production planning*. Construction Management and Economics. 23, 93-105. University of Teesside, Middlesbrough.

CALLAHAN, E. (1999): *Programación con Microsoft Access 2000. Macros y Visual Basic para aplicaciones.* Mc Graw Hill (Madrid).

CHANG, P.Y., DAMODARAN, P. y MELOUK, S. (2004): *Minimizing makespan on parallel batch processing machines.* International Journal of Production Research, vol. 42, Nro 19, 4211-4220. Taylor & Francis Group.

D'ANDREA, E. (2006): *Bases de datos con Visual Basic 2005.* Inforbook´s. (Barcelona).

D'ANDREA, E. (2006): *Visual Basic 2005 Curso de iniciación.* Inforbook´s. (Barcelona).

DOMÍNGUEZ MACHUCA, J.A., GARCÍA GONZÁLEZ, S., DOMÍNGUEZ MACHUCA, M.A., RUÍZ JIMÉNEZ, A., y ALVAREZ GIL, M.J. (1995): *Dirección de operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. Mc Graw Hill (Madrid).

GARCÍA BAÑOS, A. (2007): *Computación evolutiva (CE). Simulated Annealing.* Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad del Valle.

MARQUÉS, M. (2001): *Ficheros y Bases de Datos*. Universitat Jaume I. Valencia, España.

MONCH, L., BALASUBRAMANIAN, H., FOWLER, J.W., PFUND, M.E. (2004): *Heuristic scheduling of jobs on parallel batch machines with incompatible job families and unequal ready times.* Computers & Operations Research, 32 (2005) 2731–2750. Disponible en www.sciencedirect.com

PARADA, V., SEPULVEDA, M. y GÓMEZ DE ALVARENGA, A. (2006): *Solución al problema de corte de piezas mediante el algoritmo Simulated Annealing*. Departamento de Ingeniería Informática. Universidad de Santiago de Chile, Chile.

PETROUTSOS, E. (2000): *Programación de bases de datos con Visual Basic 6*. Anaya Multimedia. (Madrid).

SUJAY MALVE, REHA UZSOY (2005): *A genetic algorithm for minimizing maximum lateness on parallel identical batch processing machines with dynamic job arrivals and incompatible job families.* Computers & Operations Research, 34 (2007) 3016 – 3028. Disponible en www.sciencedirect.com

ZUMAETA OBANDO, R. (2003): *Aplicación de la Teoría de las Restricciones a las PyMES*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. Disponible en http://sisbib.unmsm.edu.pe/ (Biblioteca de la Facultad de Ingeniería Industrial).