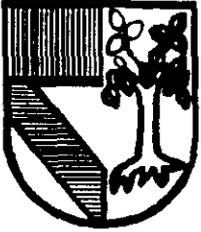


308917

19  
2ej



**UNIVERSIDAD PANAMERICANA**

**ESCUELA DE INGENIERIA**

**CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**REDISEÑO DE UNA CELULA DE MANUFACTURA  
FLEXIBLE DE MENSULAS.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
AREA: INGENIERIA ELECTROMECHANICA  
P R E S E N T A  
CARLOS MAURICIO LOPEZ MORALES**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. PIOTR MACIEJ RUSEK PIELA**

**MEXICO, D. F.**

**1999**

278560

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Esta obra representa el esfuerzo y el trabajo realizados durante una carrera, con el apoyo de mucha gente a quienes dedico este libro.

A mis queridos padres:

FIDEL LÓPEZ TOLEDO  
MERCEDES MORALES Y PÉREZ

Quienes con su sacrificio y abnegación me formaron hasta darme una carrera en la que ven consagrados sus esfuerzos. Gracias por ser guías en mi desarrollo personal, por forjarme con esa libertad y responsabilidad que me permiten ser el reflejo de una gran pareja.

Con cariño a mi hermana:

TANIA NAYHIELY LÓPEZ MORALES

Por su apoyo y fortaleza forjados durante nuestro camino recorrido.

Con especial agradecimiento a mi asesor:

DR. PIOTR MACIEJ RUSEK PIELA

A ese gran amigo que me ha guiado por diversos senderos, siempre con certeza, ética y el afecto propio de un gran hombre.

Con afecto y estimación a mis amigos:

FAM. AGUILLÓN ESCOBAR

Por ser parte de nuestra familia y apoyo incondicional.

A MIS COMPAÑEROS DE CLASE

Por los años cursados, en compañía de quienes ahora se convierten en mis hermanos de profesión, así como por todos aquellos momentos de diversión, estudio y esfuerzo que compartimos.

Agradezco:

A todas aquellas personas que con su ayuda hicieron posible la realización de este trabajo.

## ÍNDICE

|   |     |
|---|-----|
| Introducción.   |     |
| 1. Principios básicos de la tecnología de grupos.                                       | 1   |
| 2. Definición del problema  | 32  |
| 3. Análisis del problema – alternativas de solución.                                    | 40  |
| 4. Criterios de selección de la alternativa óptima y selección de la mejor alternativa. | 48  |
| 5. Análisis en el campo.  | 58  |
| 6. Propuesta de reorganización del trabajo en la célula.                                | 83  |
| 7. Propuesta de rediseño en el área de trabajo.   | 95  |
| 8. Observaciones generales.   | 103 |
| Conclusiones finales del proyecto de tesis.   | 115 |
| Bibliografía.   | 118 |

## INTRODUCCIÓN.

La producción y el consumo masivo, que durante largo tiempo han sido considerados como virtudes en una sociedad de economía libre, han cambiado. Varios problemas han ocurrido incluyendo estancamientos económicos, crisis de energía, mermas en las reservas de materiales, proliferación de la contaminación, disminución en las habilidades laborales, cambios rápidos en el diseño de los productos, innovación tecnológica, y otras.

Además, las compañías manufactureras independientes deben tomar medidas para adoptar producciones multi-productos, y de pequeños tamaños de lotes como medio de adaptarse a los movimientos del mercado, caracterizado por una sociedad diversificada y especialmente orientada, así como al corto tiempo de vida del producto.

Diversos intentos se han desarrollado para lograr sistemas de manufactura por lotes pequeños o multi-productos. La tecnología de grupos (GT) es uno de estos métodos que firmemente ha obtenido gran interés por parte de las compañías interesadas en el progreso de

la manufactura. Este concepto es una filosofía de manufactura para incrementar la eficiencia de producción por medio de una identificación y explotación de las similitudes de las piezas y procesos de operación en el diseño y la manufactura.

Aplicando la tecnología de grupos, diversas ventajas se han logrado, incluyendo efectos en la producción masiva, la posibilidad de crear patrones de producción de diversos elementos en una ruta de proceso, reducción en el tiempo y costo de preparación, simplificación en el manejo del flujo de materiales, racionalización del diseño, procesos de estandarización de la producción, etc.

La manufactura por lotes es una actividad dominante mundialmente. En los próximos años, seremos testigos de una era de producción masiva basada en los requerimientos del cliente. El mayor problema en la manufactura por lotes es el alto nivel de variedad de productos y el pequeño tamaño de lotes a manufacturar.

Las variaciones en el producto, representan para los ingenieros problemas para diseñar una amplia variedad de piezas. Las decisiones tomadas en la fase de diseño, afectan significativamente el costo de manufactura, la calidad y el tiempo empleado para la producción. Los impactos de estas variaciones del producto en la manufactura son la alta inversión en equipo, costo de herramienta, complejidad en la programación de la producción, largo y costoso tiempo de preparación, excesivos desperdicios y un alto costo en controles de calidad.

Sin embargo, para competir en el mercado global, es esencial el mejorar la productividad en las industrias de manufactura por lotes. Para este propósito, algunos métodos innovadores son necesarios para reducir el costo de producción, disminuyendo el tiempo y proporcionando calidad en el producto para ayudar a incrementar la venta en el mercado y su aprovechamiento.

Es imperativo tener un alto nivel de integración entre las actividades de diseño y manufactura en la compañía. La tecnología de grupos provee de un enlace entre el diseño y la manufactura. La adopción de conceptos de tecnología de grupos, que permite a la producción por pequeños lotes el obtener ventajas económicas similares a la producción masiva mientras retiene la flexibilidad en los métodos de trabajo, ayudará a solventar algunos de los problemas.

La presente tesis busca integrar estos conceptos para incrementar la productividad de una compañía dedicada a la manufactura de herramientas de uso doméstico, enfocándose en la fabricación de seis tipos de ménsulas en base a su tamaño y configuración.

Para el desarrollo de este proyecto, se estudió la manera de producir dichas ménsulas en la fábrica con razón social GAMO S.A., donde por medio de las técnicas empleadas en la tecnología de grupos y estudios de tiempos y movimientos, se propone un nuevo método de fabricación, en donde se han reducido movimientos innecesarios, generando así una reducción de tiempo y un incremento en la productividad.

El estudio comenzó con el análisis secuencial de las operaciones realizadas en la conformación de las ménsulas. Debido a los problemas operativos que se observaron en el estudio, se buscó mejorar la situación actual de manufactura, preparando así el proceso para aplicar posteriormente los conceptos de manufactura flexible.

La tesis se compone de ocho capítulos, los cuales presentan los siguientes contenidos:

- *Capítulo 1.* Describe los principios básicos de la tecnología de grupos, la formación de familias de piezas y células GT, los diversos sistemas de clasificación, así como los tipos de arreglos para sistemas de manufactura.
- *Capítulo 2.* Se define el problema o el tema de tesis a desarrollar. Se presenta un panorama de la situación existente en la empresa manufacturera, se desarrolla una descripción de las piezas a estudiar, así como de la constitución de la célula de trabajo a rediseñar, con el respectivo programa de producción de las ménsulas y la situación a mejorar.
- *Capítulo 3.* Se analiza el problema y se hacen muestreos de producción de las piezas que constituyen las ménsulas, así como el tiempo empleado en las operaciones de conformación de dichas ménsulas. Se analizan las deficiencias en el proceso.
- *Capítulo 4.* Se plantean criterios de selección de la alternativa óptima y se analizan los posibles métodos de ensamble, escogiendo la mejor alternativa.
- *Capítulo 5.* Se realiza un análisis en el campo. Presentando una introducción al estudio de métodos, se analizan los movimientos en las operaciones más representativas en el proceso de conformación de las ménsulas, como es el ensamble y el remache.
- *Capítulo 6.* Se hace una propuesta de reorganización del trabajo en la célula. Se analiza la situación existente, para poder proponer un nuevo proceso de ensamble y remachado. Se

hace un análisis de los resultados en las propuestas de dichas operaciones así como una comparación de los valores actuales y los resultados propuestos.

- *Capítulo 7.* Se propone un rediseño en el área de trabajo y se plantean algunas consideraciones para la economía de movimientos.
- *Capítulo 8.* Se presentan unas conclusiones preliminares por medio de observaciones generales. Se hace una recopilación de la situación existente, de las operaciones presentes y de las propuestas de solución.
- Se presentan las conclusiones finales del proyecto de tesis, así como el balance de las operaciones en el proceso de manufactura de ménsulas.

## **CAPÍTULO 1**

### **PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA TECNOLOGÍA DE GRUPOS.**

#### **1.1.INTRODUCCIÓN.**

La tecnología de grupos (GT) es una filosofía de manufactura, la cual identifica y aprovecha la similitud implícita de las piezas en los procesos de manufactura.

El agrupar piezas similares en familia de elementos basándose tanto en su diseño como en su proceso, es posible el incrementar la productividad por medio de una racionalización más efectiva del diseño y recuperación de datos, así como de una estandarización y racionalización de la manufactura.

## 1.2. FORMACIÓN DE UNA FAMILIA DE PIEZAS Y CÉLULAS GT.

Una familia de piezas es un grupo de partes que poseen similitudes específicas en propiedades de diseño o en los procesos de producción.

Una familia de piezas puede ser agrupada con aquellos elementos con propiedades de diseño similares, como es la forma geométrica, tamaño, materiales, etc. Así como agruparse respecto a las operaciones de producción, como son las máquinas, procesos, operaciones, herramental, etc.

En la agrupación de elementos, es importante considerar los datos de producción, como es el tamaño del lote, la frecuencia, el tiempo, el plan anual de producción, etc., en la programación para una optimización en la secuencia y en la preparación para maquinado.

Cuatro métodos básicos son empleados en la formación de familia de elementos:

1. Examen manual o visual.
2. Nomenclaturas o funciones.
3. Análisis del flujo de producción.
4. Sistemas de clasificación y codificación.

La examinación manual es simple pero mucho más limitada en su capacidad para tratar una cantidad amplia de elementos. Se ha comprobado que las nomenclaturas y funciones no son confiables para un agrupamiento efectivo. Por lo tanto, ha sido una práctica común el uso tanto del análisis del flujo de producción o clasificación y el método de codificación en

la formación de familias de elementos, y en grupos de máquinas o células para aplicaciones en tecnología de grupos.

El análisis del flujo de producción es un método para la formación de familias así como en grupos o familias de máquinas por medio de un análisis de los datos del proceso de producción listados en las hojas de operación, esto es, máquinas o estaciones de trabajo, operaciones, secuencias de operación, etc. Este método no requiere un sistema de clasificación y codificación, pero necesita unas confiables hojas de operación bien documentadas.

Un sistema de clasificación y codificación provee un efectivo recurso para la formación de familia de elementos, basada en parámetros específicos y un código de dígitos sin considerar el sistema original o el uso de las piezas. También debe ser notado que un sistema de clasificación y codificación bien diseñado y propiamente adaptado, provee un efectivo sistema de recuperación de datos para una base de datos común, la cual es esencial para una exitosa implementación de una manufactura apoyada por computadora.

### 1.3. FORMACIÓN DE FAMILIAS DE ELEMENTOS: SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN Y CODIFICACIÓN.

La gran variedad de piezas y pequeños lotes de producción, originan ineficiencias en el diseño de las piezas así como en la manufactura de las mismas. Como son el uso ineficiente de los datos de diseño, incoherencias entre la planeación y la estimación de costos, un flujo

bajo de producción, altos costos del herramental, altos costos de preparación, grandes inventarios y problemas de manejo.

La solución a estos problemas, estriba en agrupar las piezas en familias, que poseen atributos similares, ya sea en el diseño o en la manufactura, con un propósito específico. Los atributos de diseño incluyen la forma de las piezas (redondez o prismaticidad), tamaño (longitud o tamaño diametral), calidad de la superficie (rugosidad, tolerancias, etc.), tipo de material, estado de la materia prima (fundición, lingotes, barras, etc.) etc. Los atributos de manufactura de las piezas incluyen operaciones (torneado, fresado, etc.) y secuencias, tamaño del lote, máquinas y herramientas de corte, tiempos de proceso, volúmenes de producción, etc.

El propósito de una familia determina los atributos a ser considerados. Por ejemplo, si lo que se busca son las ventajas del diseño de partes, entonces las piezas deben ser del mismo tamaño, forma, etc., que están basadas en atributos del diseño para una familia. Esto permite a los ingenieros el emplear viejos planos para la creación de nuevas piezas. Por ello, cuando estos atributos están estandarizados se previene la proliferación en la variedad de piezas, y se provee de una planeación y valores de estimación en costos actualizados.

Con el propósito de la manufactura, sin embargo, dos piezas idénticas en forma, tamaño, etc. pueden ser producidas en diferentes formas, incluso, ser miembros de diferentes familias. La eficiencia en manufactura se obtiene reduciendo los tiempos de preparación, en la planeación de la familia de piezas, en la mejora del control del proceso, con planos de proceso estandarizados, mejorando el flujo, etc.

Es por ello que la formación de familias toma ventaja de las similitudes de las piezas e incrementa la eficiencia:

- Mejorando las actividades en conjunto.
- Estandarizando las características similares.
- Almacenando y recibiendo eficientemente la información acerca de los problemas recurrentes.

Es por esto, que la formación de familias es un requisito previo para la producción efectiva de piezas en grupos, y es probablemente el determinante principal de la efectividad global del sistema de producción en la célula.

El proceso de identificación de piezas similares permite el desarrollo del concepto de la "pieza compuesta". Una pieza compuesta es un complejo elemento que incorpora todo, o casi todo, de las características de diseño de una familia en piezas similares. Esta pieza compuesta teóricamente es extremadamente útil en el desarrollo de arreglos (**layouts**) de herramientas en las máquinas. Esta aproximación fue usada para preparar máquinas individuales, pero cuando familias de partes y grupos de máquinas fueron formadas considerando operaciones secuenciales, se logró una baja utilización de las máquinas para operaciones secundarias.

En los casos donde la variedad de piezas es baja, un análisis visual/manual de piezas y planos, puede ser usada para determinar la familia de partes. Cuando la variedad de piezas es grande, el considerar todos los factores es preferible a codificar todas las piezas y clasificarlas por similitudes o diferencias en el código.

### 1.3.1. SISTEMAS DE CODIFICACIÓN.

Un código es una cadena de caracteres que contiene información referente a una pieza. Usando un sistema de codificación, todos los dígitos son códigos numéricos asignados (todos números), códigos alfabéticos (todas letras) o códigos alfanuméricos (mezcla de letras y números). Dependiendo de cómo los dígitos del código están relacionados, existen tres sistemas de codificación: monocódigo (código jerárquico), policódigo (código por atributos) y código mixto.

#### 1.3.1.1. MONOCÓDIGO.

Este sistema fue desarrollado originalmente para clasificación biológica, en donde cada dígito del código es dependiente del significado del dígito anterior. Un ejemplo del desarrollo de una estructura de árbol está presentada en la fig. 1.3.1

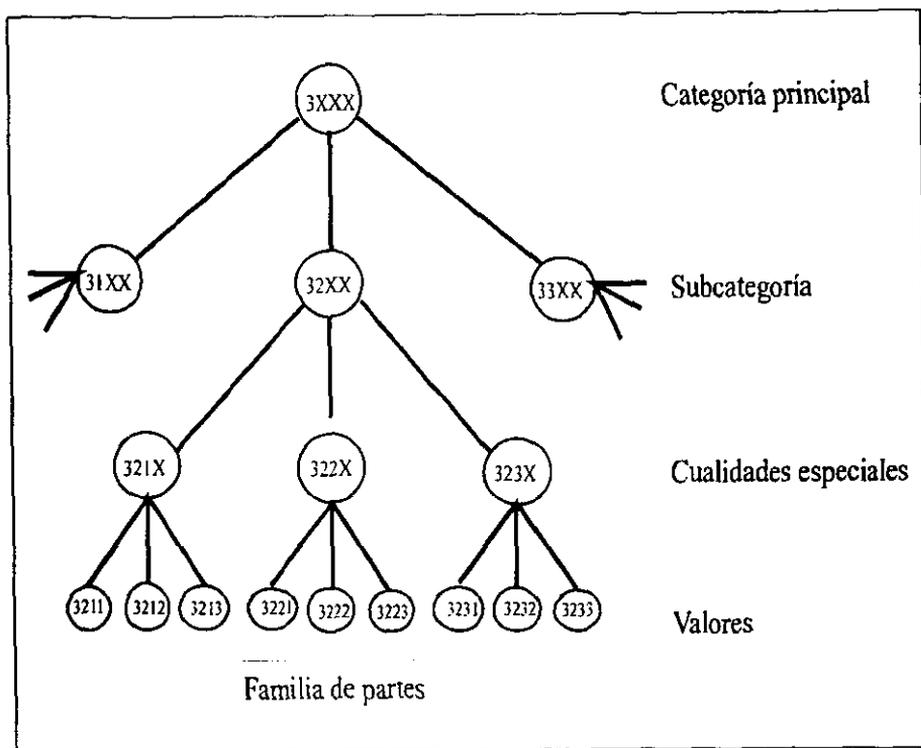


Fig. 1.3.1 Sistema monocódigo de clasificación.

Algunas de las principales características que presenta la formación de este esquema son:

- Es difícil de construir.
- Provee de un análisis profundo.
- Es preferido para un almacenamiento permanente de información (preferentemente para características de las piezas que para características de manufactura).
- Contiene más información en un código pequeño (se requieren menos dígitos).
- Es preferido por los departamentos de diseño.

### 1.3.1.2. POLICÓDIGO.

Cada dígito en el policódigo describe una única propiedad de la pieza y es independiente de los demás dígitos. Un ejemplo de un policódigo se presenta en la fig.

1.3.2.

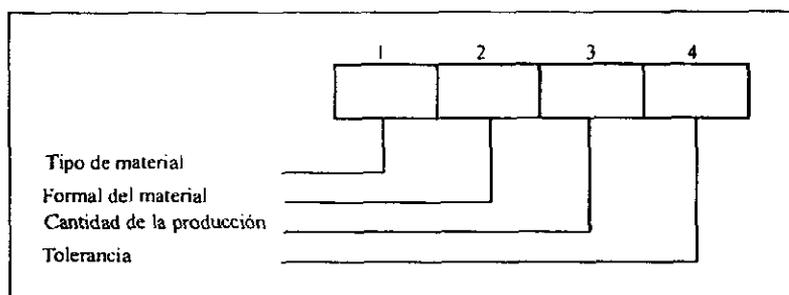


Fig. 1.3.2 Sistema policódigo de clasificación.

Las principales características de este sistema son:

- Es fácil de aprender, usar y alterar.
- Es preferido para el almacenamiento temporal de información (características de manufactura).
- La longitud del código puede ser excesiva, debido a su limitada capacidad de combinación.
- Es preferido por los departamentos de manufactura.

### 1.3.1.3. CÓDIGO MIXTO.

Para incrementar la capacidad de almacenamiento, los códigos mixtos consistentes de unos cuantos dígitos conectados como un monocódigo seguido por el resto de los dígitos en policódigo, son usualmente preferidos. Los beneficios de ambos sistemas son por lo tanto combinados en un solo código.

### 1.4. REORGANIZACIÓN RACIONAL DEL DISEÑO.

Decisiones del diseño pueden ser hechas:

- a) Cuando un diseño viejo es empleado.
- b) Modificando y usándose si existe un diseño similar.
- c) Diseñando un nuevo elemento cuando no existe una familia de elementos.

Los esfuerzos de racionalización del diseño empleando el concepto de tecnología de grupo proveen los siguientes aspectos:

1. Agrupamiento efectivo de la familia de elementos.
2. Efectiva recuperación de datos o información del diseño.
3. Estandarización y simplificación.
4. Diseño óptimo para una manufactura económica.
5. Eliminación o reducción de diseños duplicados.
6. Base de datos común para CAD-CAM integrados.

## 1.5. GRUPO DE PRODUCCIÓN.

### 1.5.1. GRUPO/CÉLULA DE MÁQUINAS.

Para la aplicación del concepto de tecnología de grupo en la producción, un grupo de máquinas para una familia de elementos o más, puede ser formado para procesar las piezas que poseen operaciones similares o iguales, empleando las máquinas.

A partir de que las máquinas están arregladas en una célula o grupo, el flujo de piezas en una línea de semiflujo minimiza la transportación y espera, a través de la reducción de tiempo.

### 1.5.2. HERRAMENTAL DE GRUPO.

Para el procesamiento de una familia de elementos que requieren un herramental similar y un montaje de herramientas, es lógico el diseñar un grupo de fijación o montaje para acomodar las herramientas requeridas para la familia de piezas.

Usualmente este grupo de fijación o montaje está diseñado para aceptar todos los miembros de la familia, acompañados de adaptadores que cumplen las necesidades específicas y diferencias de las partes en la familia. Con un grupo de fijación o montaje, no es necesario diseñar un herramental individual para cada pieza.

Muchos adaptadores son más baratos en comparación con los elementos de fijación y montaje regulares. Es por esto, que obviamente se ahorra una considerable cantidad en los costos de herramental así como en el montaje.

## 1.6. CONTROL DE LA PRODUCCIÓN EN LA TECNOLOGÍA DE GRUPOS.

A fin de alcanzar una alta productividad y eficiencia en la manufactura por lotes, es absolutamente esencial incorporar el concepto de tecnología de grupo en cada actividad de manufactura, incluyendo operaciones y administración.

Diversos esfuerzos se han hecho para aplicar el concepto de tecnología de grupos a los aspectos tecnológicos de las actividades de manufactura, como los sistemas de clasificación y codificación, la racionalización del diseño, el diseño de células GT para el herramental del grupo y otras.

### 1.6.1. CONTROL Y PLAN DE LA PRODUCCIÓN.

Los problemas generales en el plan de producción son complejos y difíciles de optimizar. La tendencia hacia la tecnología de grupos, basándose en el agrupamiento de familia de piezas en el plan, simplifica los problemas sin considerar si la familia de piezas es procesada en la célula o grupo de máquinas o no.

El plan de la producción basado en el concepto de la tecnología de grupos es llamado "planeación del grupo". Una aplicación apropiada de la planeación del grupo reduce efectivamente el tiempo de proceso total y resulta en la reducción del inventario del trabajo en proceso.

Para resolver los problemas de la planeación del grupo, diversos algoritmos y modelos matemáticos han sido desarrollados, y programas de computadora relacionados han sido creados para organizar los trabajos en una(s) familia(s) de piezas. Los objetivos específicos de estos algoritmos y modelos, son optimizar tanto las características como las operaciones en la secuencia y en la preparación de las máquinas.

Debe ser comprendido que la programación o planeación del grupo sola no puede ser efectiva, a menos que sea bien coordinada con las actividades de planeación y control relacionadas. Las aplicaciones integradas de la planeación del grupo y de la Planeación del Requerimiento del Material (MRP) son sumamente esenciales para la exitosa implementación de ambas actividades.

## 1.7. ANÁLISIS DEL GRUPO DE MÁQUINAS PARA PIEZAS: MÉTODOS PARA LA FORMACIÓN DE CÉLULAS.

La principal aplicación de GT es evitar informalidades en las similitudes de las piezas, con el fin de lograr eficiencias en la secuencia de maquinado de las piezas. La segunda aplicación es crear familia de piezas formales, preparar máquinas para estas familias, pero

dejando dichas máquinas en su posición original (arreglo lógico). La última aplicación es formar células de manufactura (arreglo físico).

El arreglo lógico es aplicado cuando la variedad de piezas y los volúmenes de producción cambian frecuentemente, ya que el arreglo físico requiere el reordenamiento de las máquinas, lo cual no se justifica.

Tradicionalmente, los esquemas de los códigos hacen énfasis en la captura de las características de las piezas, por medio de la identificación de familias de piezas, las cuales son similares en función, forma, etc., pero no facilitan la identificación de la ordenación de las máquinas. Para el procesamiento de dichas piezas.

Burbidge<sup>1,2</sup> propuso el análisis del flujo de producción (PFA) para encontrar una completa división de todas las piezas en familias, así como una completa división de todas las máquinas existentes en grupos asociados por un análisis de información en las rutas de proceso de las piezas. PFA es un procedimiento sistemático para la división completa de la organización. La identificación de familias de piezas y grupos de familias es uno de los pasos de PFA.

La identificación de familias de piezas y grupos de máquinas es comúnmente referida a la formación de células. Numerosas propuestas han sido reportadas para la formación de

---

<sup>1</sup> Cfr. Burbidge, J.L., *Production Flow Analysis for Planning Group Technology*, Oxford Science Publications, Clarendon Press, Oxford, 1989.

<sup>2</sup> Cfr. Burbidge, J.L., *Production Flow Analysis for Planning Group Technology*, *Journal of Operations Management*, 10(1), 1991, pp. 5-27

células. Estas propuestas adoptan tanto un procedimiento secuencial, como uno simultáneo, para la separación de piezas y máquinas.

El procedimiento secuencial determina primero la familia de piezas (o grupo de máquinas), seguido de una asignación de máquinas (o distribución de piezas). Por ejemplo, la clasificación y codificación pueden ser empleadas para identificar la familia de piezas, seguida por una identificación de las máquinas requeridas para procesar cada familia de piezas.

El procedimiento simultáneo determina las familias de piezas y los grupos de máquinas al mismo tiempo.

#### 1.7.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

La aplicación o adaptación de GT comienza con la identificación de las familias de piezas y de los grupos de máquinas, con el fin de que cada pieza sea procesada en un grupo de máquinas, con la menor interacción de otros grupos.

La formación de células es reconocida por los investigadores como un problema complejo, por esto, se procesa por etapas. Existe la necesidad de limitar el campo de acción

del problema por etapas, debido a que los intentos de contemplar todo el problema lo complican, ocasionando fallas<sup>3</sup>.

**PFA**, está basado en esta filosofía y considera un simple cambio: el cambio de la organización del proceso en **GT**. No considera cambios en la planta, en el diseño del producto, métodos de procesamiento o suboptimizaciones como en la minimización del costo en cada etapa.

Los requerimientos de información de procesamiento de las piezas en las máquinas pueden ser obtenidos de las tarjetas de ruta. Esta información es comúnmente presentada en una matriz llamada "matriz pieza-máquina", la cual es una matriz  $P \times M$  con valores 0 ó 1. Un ejemplo de una matriz pieza-máquina se muestra en la Fig. 1.7.1.

|                 |   | Pieza ( $p$ ) |   |   |   |   |
|-----------------|---|---------------|---|---|---|---|
|                 |   | 1             | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Máquina ( $m$ ) | 1 | 1             | 0 | 1 | 0 | 0 |
|                 | 2 | 0             | 1 | 1 | 0 | 1 |
|                 | 3 | 1             | 0 | 0 | 1 | 0 |
|                 | 4 | 0             | 0 | 1 | 0 | 1 |

Fig. 1.7.1 Matriz pieza-máquina

<sup>3</sup> Cfr. Burbidge, J.L., Comments on clustering methods for finding GT groups and families. *Journal of*

Un 1 en la columna  $p$  y renglón  $m$  indica que la pieza  $p$  requiere la máquina  $m$  en una operación. La secuencia de operación es ignorada en esta matriz y si una pieza requiere más de una operación en una máquina, ésta no puede ser identificada en la matriz pieza-máquina (usando 0 ó 1). Más aún, sólo los tipos de máquinas están referidos en la matriz, no el número de copias disponibles de un tipo de máquina dado. La consideración básica, es que el tipo de máquina dentro del grupo en el cual la pieza ha sido asignada posea la suficiente capacidad para procesar las piezas completamente.

Ordenando arbitrariamente dicha matriz como se muestra en la Fig. 1.7.2, se pueden identificar 2 bloques diagonalmente (células) que corresponden a dos familias de piezas y grupos de máquinas.

|         |   | Pieza |   |   |   |   |                   |
|---------|---|-------|---|---|---|---|-------------------|
|         |   | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 |                   |
| Máquina | 1 | 1     | 0 | 1 |   |   |                   |
|         | 2 | 0     | 1 | 1 |   | 1 | Pieza excepcional |
|         | 3 | 1     |   | 0 | 1 | 0 | Vacante           |
|         | 4 |       |   | 1 | 0 | 1 |                   |

Fig. 1.7.2 Agrupación arbitraria.

Las piezas 1,2 y las máquinas 1,2 están en una célula, mientras que las piezas 3,5 y las máquinas 3,4 están en otra célula. Con esta distribución se observa que las piezas 1,3 y 5 visitan ambas células para complementar todas sus operaciones. Esto está indicado por los 1 afuera de los bloques diagonales. Estos están referidos como piezas 'excepcionales', y las

máquinas 1,2 y 3 que procesan estas piezas están identificadas como máquinas “Cuello de Botella”. Además, se observa que la pieza 2 no requiere la máquina 1, aunque está en la célula. Esto se indica por el 0 dentro del bloque diagonal. Similarmente a todas las demás piezas que no requieren alguna de las máquinas asignadas a las células. Los 0 dentro de los bloques diagonales se conocen como “Vacantes”.

Basándonos en la arbitraria redistribución de la matriz, intercambiamos los renglones y columnas, obteniendo la matriz que se muestra en la Fig. 1.7.3.

|         |   | Pieza |   |   |   |   |
|---------|---|-------|---|---|---|---|
|         |   | 1     | 4 | 3 | 5 | 2 |
| Máquina | 1 | 1     | 0 | 1 |   |   |
|         | 3 | 1     | 1 |   |   |   |
|         | 2 |       |   | 1 | 1 | 1 |
|         | 4 |       |   | 1 | 1 | 0 |

Fig. 1.7.3 Distribución reorganizada.

En esta nueva distribución los números 1 fuera de los bloques y los 0 dentro de los mismos, son menores que en la distribución anterior. Idealmente, se desearía una distribución en donde no existieran 0 dentro de los bloques, ni 1 fuera de éstos, como se muestra en la Fig. 1.7.4.

|         |   | Pieza |   |   |   |   |
|---------|---|-------|---|---|---|---|
|         |   | 1     | 4 | 3 | 5 | 2 |
| Máquina | 1 | 1     | 1 |   |   |   |
|         | 3 | 1     | 1 |   |   |   |
|         | 2 |       |   | 1 | 1 | 1 |
|         | 4 |       |   | 1 | 1 | 1 |

Fig. 1.7.4 Arreglo perfecto.

Esto implica que las dos células son independientes, i.e. cada familia de piezas es procesada dentro de un grupo de máquinas y cada pieza en una familia de éstas, es procesada por cada máquina en su correspondiente grupo de máquinas.

Este ejemplo ilustra un caso en donde una descomposición perfecta de un sistema en dos subsistemas es obtenida. Sin embargo en la vida real, la naturaleza de la presentación de la información es tal, que una descomposición perfecta es raramente obtenida. En esta situación (Fig. 1.7.3), uno desearía obtener una descomposición casi perfecta considerando los siguientes objetivos durante la distribución de la matriz<sup>4</sup>:

1. Tener la menor cantidad de 0 dentro de los bloques diagonales (vacantes).
2. Tener la menor cantidad de 1 fuera de los bloques diagonales (elementos excepcionales).

<sup>4</sup> Cfr. Miltenburg, J. and Zhang, W., A comparative evaluation of nine well known algorithms for solving the cell formation problem in group technology, *Journal of Operations Management*, 10(1), 1991, pp. 44-72.

Una vacante indica que una máquina asignada a una célula no es requerida para el procesamiento de una pieza en la célula. Cuando una pieza pasa a una máquina sin ser procesada en ésta, se contribuye en un costo de manejo intra-celular adicional. Originando a lo largo células ineficientes.

Un elemento excepcional es creado cuando una pieza requiere ser procesada en una máquina que no está disponible en la célula donde la pieza está asignada. Cuando una pieza necesita visitar una célula diferente para ser procesada, el costo de manejo inter-celular se incrementa. Esto requiere por lo tanto una mayor coordinación de esfuerzos entre las células. Por todo esto, las vacantes y los elementos excepcionales no son deseables.

Las vacantes y los elementos excepcionales creados, son dependientes del número de bloques diagonales y del tamaño de cada uno de éstos. En general, conforme el número de bloques diagonales decrece, el tamaño de los bloques se incrementa. Esto resulta en más vacantes y pocos elementos excepcionales. Si todas las piezas y máquinas son agrupadas en un solo bloque diagonal (i.e. la célula es larga y holgada) tenemos un número máximo de vacantes y ningún elemento excepcional<sup>5</sup>. Por ejemplo, la matriz de la Fig. 1.7.1 posee 11 vacantes y ningún elemento excepcional. Por otro lado, si el número de bloques diagonales es incrementado a dos, como en la Fig. 1.7.3, las vacantes se reducen a dos y los elementos excepcionales se reducen a uno. Por esto, conforme el número de vacantes se reduce, el número de elementos excepcionales se incrementa, y viceversa.

## 1.8. PLANEACIÓN DEL ARREGLO EN LA MANUFACTURA DE CÉLULAS.

Las decisiones en una localización específica y del diseño de las facilidades para un espacio dado, basadas en algunos objetivos a largo plazo son cruciales. Esta parte del arreglo planea y posee implicaciones a largo plazo para cualquier organización de manufactura.

El plan de facilidades para un arreglo debe surgir de un completo plan estratégico de organización. Los factores a ser considerados en la planeación del arreglo pueden ser ampliamente clasificados como internos y externos.

La mayoría de los factores internos tienen una relación de doble-flujo con las decisiones del arreglo. Por ejemplo, el volumen del flujo de trabajo debe ser una variable de mayor decisión para el arreglo pero una vez que el arreglo es final, el volumen en sí dependerá del tipo de arreglo. Los factores externos como la demanda del mercado hacia el producto afectará definitivamente las decisiones en el arreglo, pero no viceversa.

### 1.8.1. TIPOS DE ARREGLO PARA SISTEMAS DE MANUFACTURA.

Existen cuatro tipos básicos de arreglos usados para los sistemas de manufactura:

- Arreglo fijo.
- Arreglo por producto.

---

<sup>5</sup> Cfr. Adil, G.K., Rajamani, D. and Strong, D., AAA: an assignment allocation algorithm for cell formation, Univ. Manitoba, Canada, Working paper, 1993.

- Arreglo por proceso.
- Arreglo por grupo/célula.

Arreglos por producto, procesos y grupos/células pueden ser distinguidos basados en características del sistema como la relación entre el volumen de producción y la variedad de productos<sup>6,7</sup>, como se muestra en la Fig. 1.8.1. En consecuencia, un tipo particular de arreglo o una combinación de arreglos puede ser seleccionado de un conjunto de requerimientos internos y externos de los sistemas de producción. Cada uno de estos arreglos es discutido a continuación.

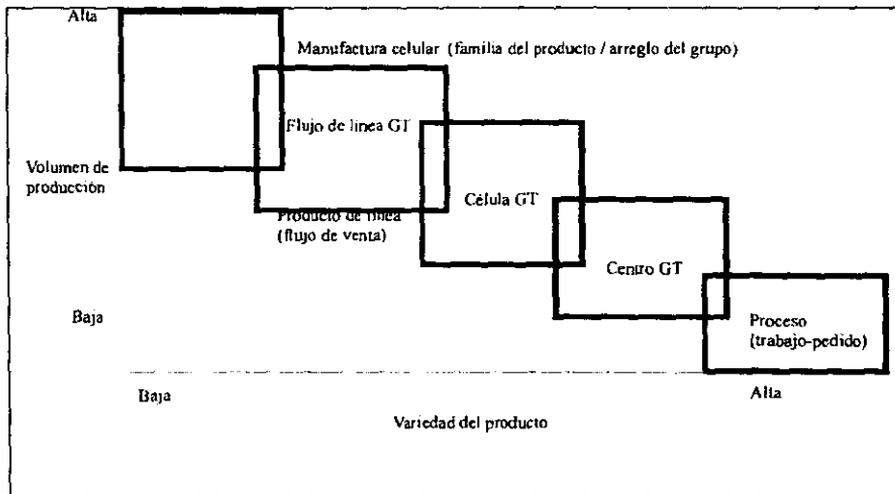


Fig. 1.8.1 Relaciones entre el volumen y la variedad de producción con diferentes sistemas de manufactura.

<sup>6</sup> Cfr. Suer, G.A. and Ortega, M., *Flexibility considerations in designing manufacturing cells: a case study.*, Univ. Puerto Rico-Mayaguez, Working paper, 1994.

### 1.8.1.1. ARREGLO DE POSICIÓN FIJA.

El concepto de arreglo de posición fija difiere de los otros tipos de arreglo. Por ejemplo, el equipo de producción se mueve de lugar respecto al producto manufacturado, como se muestra en la Fig. 1.8.2. En contraste, el producto se mueve de posición para su manufactura en el caso de los demás arreglos.

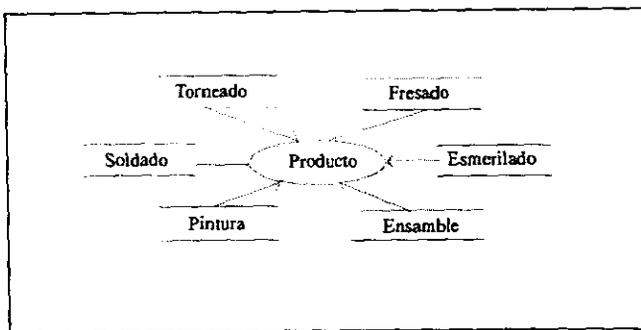


Fig. 1.8.2 Arreglo de posición fija.

El arreglo de posición fija es usado para productos que no pueden ser movidos o son muy pesados, como en la construcción de edificios, construcción de barcos, fuselaje de aviones, etc. Organizaciones del tipo de proyecto son comúnmente asociados con arreglos de posición fija. Este tipo de sistemas puede presentar una duplicación de facilidades operativas.

<sup>7</sup> Cfr. Steudel, H.J. and Desruelle, P., *Manufacturing in the Nineties: How to Become a Mean, Lean, World-class Competitor*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.

Este tipo de arreglos es flexible y puede propiciar cambios en el diseño, volumen y mezcla de productos. De hecho, cada producto generado puede ser único, los edificios por ejemplo. El movimiento de material se reduce considerablemente. Sin embargo, los movimientos de personal y equipo son altos, así como los requerimientos de habilidades en el personal. La tarea de identificación es más difícil para los trabajadores en este tipo de sistema.

### 1.8.1.2. ARREGLO POR PRODUCTO.

Los arreglos por producto son asociados con un alto volumen de producción y baja variedad de productos. En los arreglos por producto, las facilidades están ordenadas en la secuencia de operaciones requerida, como se muestra en la Fig. 1.8.3.

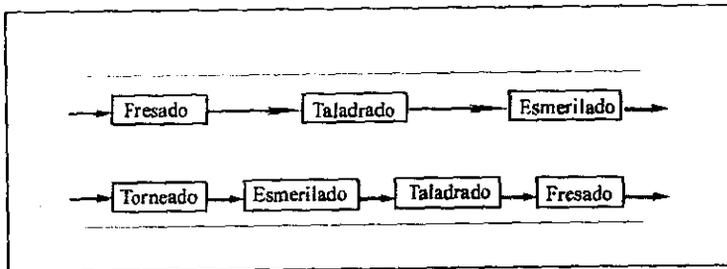


Fig. 1.8.3 Arreglo por producto.

Dependiendo del tipo de producto, estos arreglos pueden ser del tipo de flujo o de línea. Los arreglos de tipo de flujo están relacionados a producciones continuas como en la industria química. Los arreglos de tipo de línea, a diferencia, están asociados con la manufactura discreta como en la industria automotriz.

Los arreglos por tipo de productos requieren un equipo especial, y la inversión en equipo es alta. Si el producto cambia, pueden requerirse cambios en el arreglo, lo cual resulta costoso. Esta es una de las razones de porque la flexibilidad es mucho menor en estos arreglos. Los requerimientos de habilidad laboral son bajos, ya que las tareas son simples y repetitivas; lo cual resulta en ocasiones en problemas motivacionales. El flujo de material es constante, simple y lógico. El control de la producción es por ello simple en estos arreglos.

Conforme los requerimientos de manejo de material se reducen, los tiempos de preparación para la manufactura se recortan y los inventarios bajan. Sin embargo, el sistema requiere un equipo confiable, ya que una falla en una estación de trabajo puede causar un paro en la línea completa.

#### 1.8.1.3. ARREGLO POR PROCESO.

Los arreglos por procesos están asociados con un bajo volumen de producción y una alta variedad de productos, como en los sistemas de manufactura en trabajos por lotes. Dichos arreglos se componen por agrupaciones de procesos, como se muestra en la Fig. 1.8.4; el equipo empleado en este tipo de arreglo es de propósitos más generales.

Los requerimientos de habilidades laborales son altos, debido a la alta variedad de labores realizadas. El flujo de material no es tan continuo como en los arreglos por producto. La flexibilidad es alta, pero la eficiencia es baja. La inversión en equipo es baja y su utilización es alta. El sistema de producción es mucho más complicado y las decisiones a

niveles operativos como la programación y la preparación son importantes y difíciles. El nivel de inventario es alto así como los tiempos para operar las máquinas.

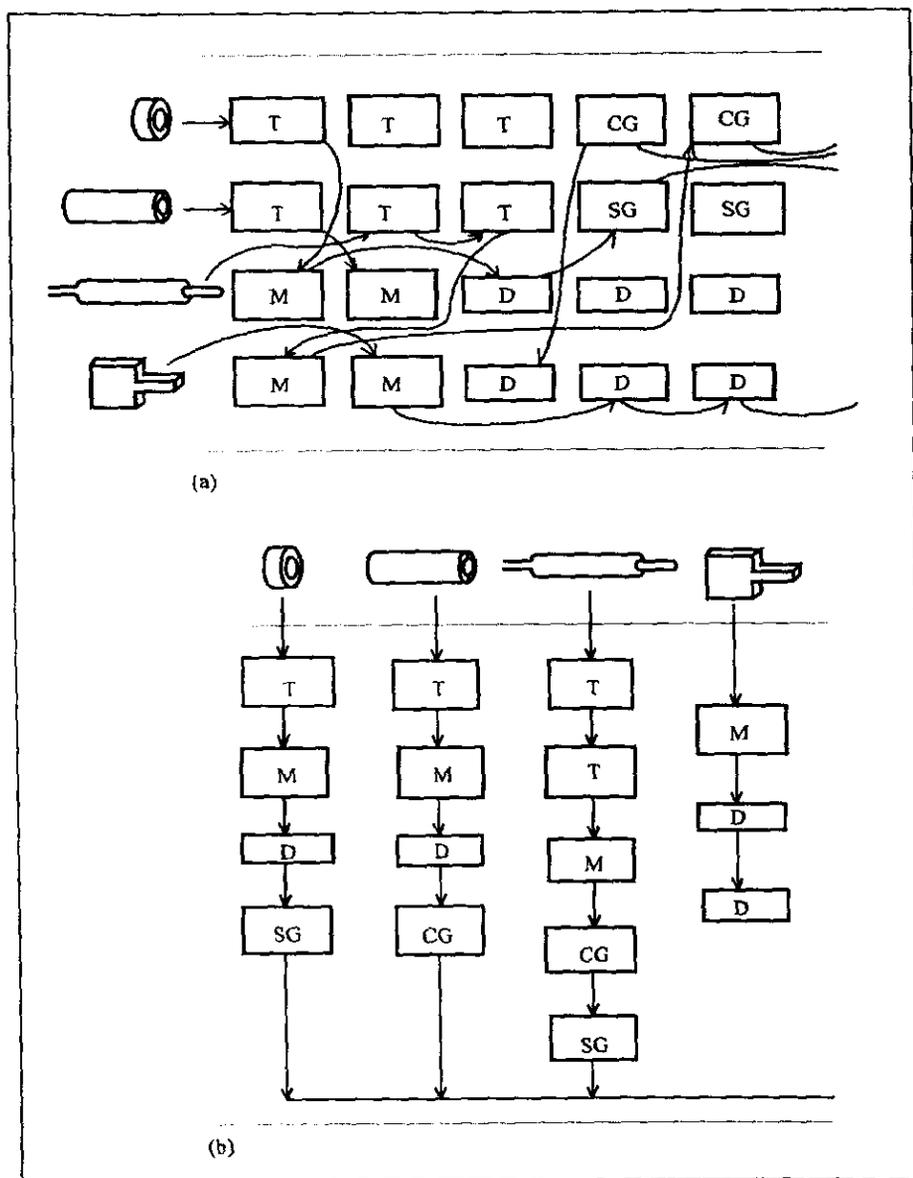


Fig. 1.8.4 Arreglo por proceso (a) Arreglo funcional; (b) Arreglo por grupo (célula de flujo de línea).

#### 1.8.1.4. ARREGLO POR TECNOLOGÍA DE GRUPOS.

La mayoría de los problemas en la manufactura por lotes y “*job-shop*” son los altos niveles de variedad de productos y los pequeños lotes de manufactura. El impacto de las variaciones de productos en la manufactura se refleja en una alta inversión en equipo, altos costos por herramental, programas complejos y largos tiempos de preparación, exceso en los desperdicios y altos costos para control de alta calidad. La adopción de conceptos GT permite producciones de pequeños lotes, con lo que se obtienen mejoras económicas similares a la producción masiva, reteniendo la flexibilidad en “*job-shop*”.

Los productos son agrupados en familia de piezas. Cada una de las cuales es asignada a un grupo de máquinas y estas máquinas a través de la cual se manipula el material forman una célula. El arreglo de estos medios es conocido como tecnología de grupos, célula, o arreglo.

El arreglo por grupos posee algunos de los beneficios de los arreglos por producto y proceso. El equipo es generalmente controlado por computadoras y pueden ser realizadas una variedad de labores y secuencias, lo cual proporciona a estos sistemas una alta flexibilidad. Los arreglos GT proporcionan una mayor eficiencia que en los arreglos por procesos y más flexible que en los arreglos por productos.

Los arreglos por grupos pueden ser ampliamente clasificados en tres categorías<sup>8</sup>:

#### *Arreglo GT por flujo de línea.*

Este tipo de arreglo, mostrado en la Fig. 1.8.5(a), es empleado cuando todas las piezas asignadas a un grupo fluyen en la misma secuencia de maquinado. Además, las piezas deben poseer tiempos de procesamiento relativamente proporcionales en cada máquina. El flujo de línea GT opera como un sistema de ensamble mezclado de productos en línea. Mecanismos de transportación automáticos son algunas veces empleados para manejar piezas dentro del grupo.

#### *Arreglo GT por células.*

El arreglo GT por células, mostrados en la Fig. 1.8.5(b), permite que las piezas se muevan de una máquina a cualquier otra máquina. Esto contrasta con el arreglo de flujo de línea GT en donde todas las partes en un grupo siguen la misma secuencia de maquinado. El flujo de partes puede no ser unidireccional. Sin embargo, las máquinas en un arreglo GT por célula son localizadas en cercanía, lo que permite reducir los movimientos de manejo del material.

#### *Arreglo de centros GT.*

El centro GT es una disposición lógica de máquinas, como se muestra en la Fig. 1.8.5(c). Por ejemplo, el arreglo puede ser basado en una disposición funcional de las máquinas, pero las máquinas están dedicadas a familias de piezas específicas. Este arreglo

---

<sup>8</sup> Cfr. Askin, R.G. and Standridge, C.R., *Modeling and Analysis of Manufacturing Systems*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1993.

permite manipulación, para incrementar los movimientos del manejo de material y es adecuado cuando la mezcla de productos cambia frecuentemente.

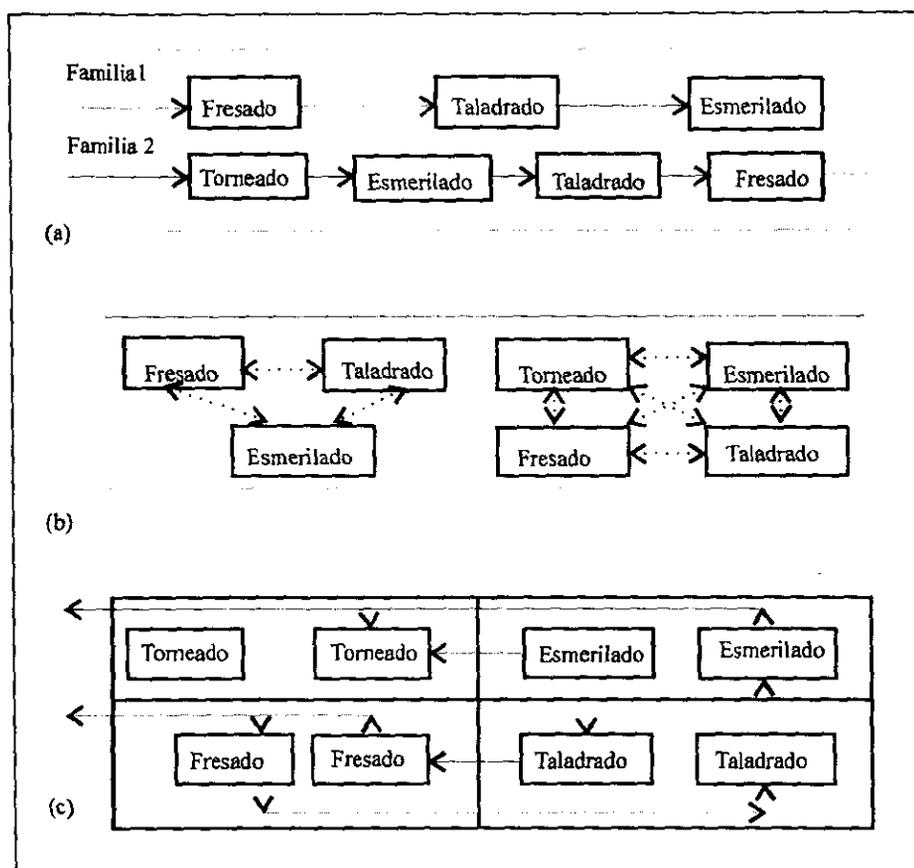


Fig. 1.8.5 Arreglos GT: (a) Flujo de línea GT, (b) Célula GT, (c) Centro GT.

### 1.8.2. PLANEACIÓN DEL ARREGLO PARA MANUFACTURA CELULAR.

La planeación del arreglo para los medios en la manufactura es uno de diversos elementos integrados en la planeación de sistemas de producción. En el contexto de sistemas de manufactura celular, la planeación del arreglo puede ser considerada como un proceso jerárquico involucrando las principales etapas:

1. Determinación de las familias de piezas basándose en el diseño de piezas y en las similitudes de sus procesos.
2. Asignación de familias de piezas al grupo de máquinas (células).
3. Racionalización de las familias de piezas y de la cantidad de trabajo.
4. Selección del tipo de arreglo celular.
5. Disposición de las máquinas y medios auxiliares en las células.

Sin embargo, antes de que el plan de arreglo pueda ser desarrollado, la siguiente información es necesaria.

- Características de los productos y materiales: tipos de productos y materiales, sus tamaños y formas. La variedad del producto es un factor mayor en el diseño de los medios para una producción económica.
- Cantidades del producto: es importante conocer las cantidades presentes y futuras de cada producto. Las relaciones entre la variedad y la cantidad de producto dictaminan el tipo de arreglo en gran medida.
- Ruta del proceso: información de las secuencias en que los productos son procesados.
- Servicios: información en servicios de soporte, estaciones de inspección y almacenamiento.

- Oportunidad: información de calendarios en términos de cuándo, y en qué máquinas, las piezas serán producidas.

#### 1.8.2.1. ARREGLO DE LAS MÁQUINAS Y LOS MEDIOS AUXILIARES.

El arreglo de las máquinas y de los medios auxiliares es una decisión estratégica, y es un proceso con diversas fases:

1. Definición del problema de la planeación del arreglo.
2. Selección de la metodología de solución.
3. Generación de planes alternativos.
4. Modificación y selección de uno o dos planes.
5. Decisión del procedimiento de implementación.
6. Reajuste y revisión basado en la implementación y problemas iniciales.

Un gran número de objetivos están involucrados en la planeación del arreglo<sup>9</sup>:

- Movimiento efectivo de materiales y personal.
- Utilización efectiva del espacio.
- Adaptabilidad a cambios imprevistos.
- Fácil expansión.
- Control de ruido.
- Seguridad.
- Facilidad de supervisión y control.

---

<sup>9</sup> Cfr. Hales, H.L., *Computer-Aided Facilities Planning*, Marcel Dekker, 1984.

- Buena apariencia.
- Seguridad.
- Bajo costo.

Existe una variedad de restricciones para la planeación de un arreglo en un problema en la vida real. Las restricciones más comunes en la planeación<sup>10</sup>, incluyen:

- Una o más actividades fijas.
- Actividades que deben estar separadas.
- Limitaciones arquitecturales.
- Limitaciones en el manejo del material.
- Limitaciones de utilidad.
- Restricciones organizacionales.
- Presupuesto.
- Tiempo.

Muchos de estos objetivos son conflictivos. La meta de atender todos los objetivos del arreglo y en el mismo tiempo satisfaciendo las restricciones es una desafiante labor y puede no ser lograda por dichos objetivos. Por lo tanto, una solución comprometida es comúnmente buscada. Una vez que los objetivos propios y restricciones son definidos y adquiridos de otras fases de planeación en la producción, es necesario una solución metodológica apropiada al problema de la planeación del arreglo.

---

<sup>10</sup> *Ibidem.*

## **CAPÍTULO 2**

### **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.**

#### **2.1. DESARROLLO DE UNA CÉLULA.**

##### **2.1.1 DESCRIPCIÓN DE UNA MÉNSULA.**

Una ménsula es un elemento arquitectónico que se emplea para sostener elementos. Dichas ménsulas se empotran a la pared, en donde son sujetadas por medio de tornillos.

Las ménsulas están compuestas por dos piezas. La primera conocida como escuadra es la que le da cuerpo a la ménsula. La segunda, conocida como regla o regleta es aquella que le da la rigidez a dicho elemento.

##### **2.1.2. MATERIAL.**

El material empleado como materia prima para la producción de ménsulas es lámina calibre 18. Sin tratamiento térmico.

### 2.1.3. ESQUEMA DE LAS MÉNSULAS.

El esquema de las 6 ménsulas producidas en la compañía GAMO S.A., se presenta en la fig. 2.1.

### 2.2. DIAGRAMA DE LA CÉLULA A REDISEÑAR.

La distribución en la célula de las máquinas se muestra en la fig. 2.2.

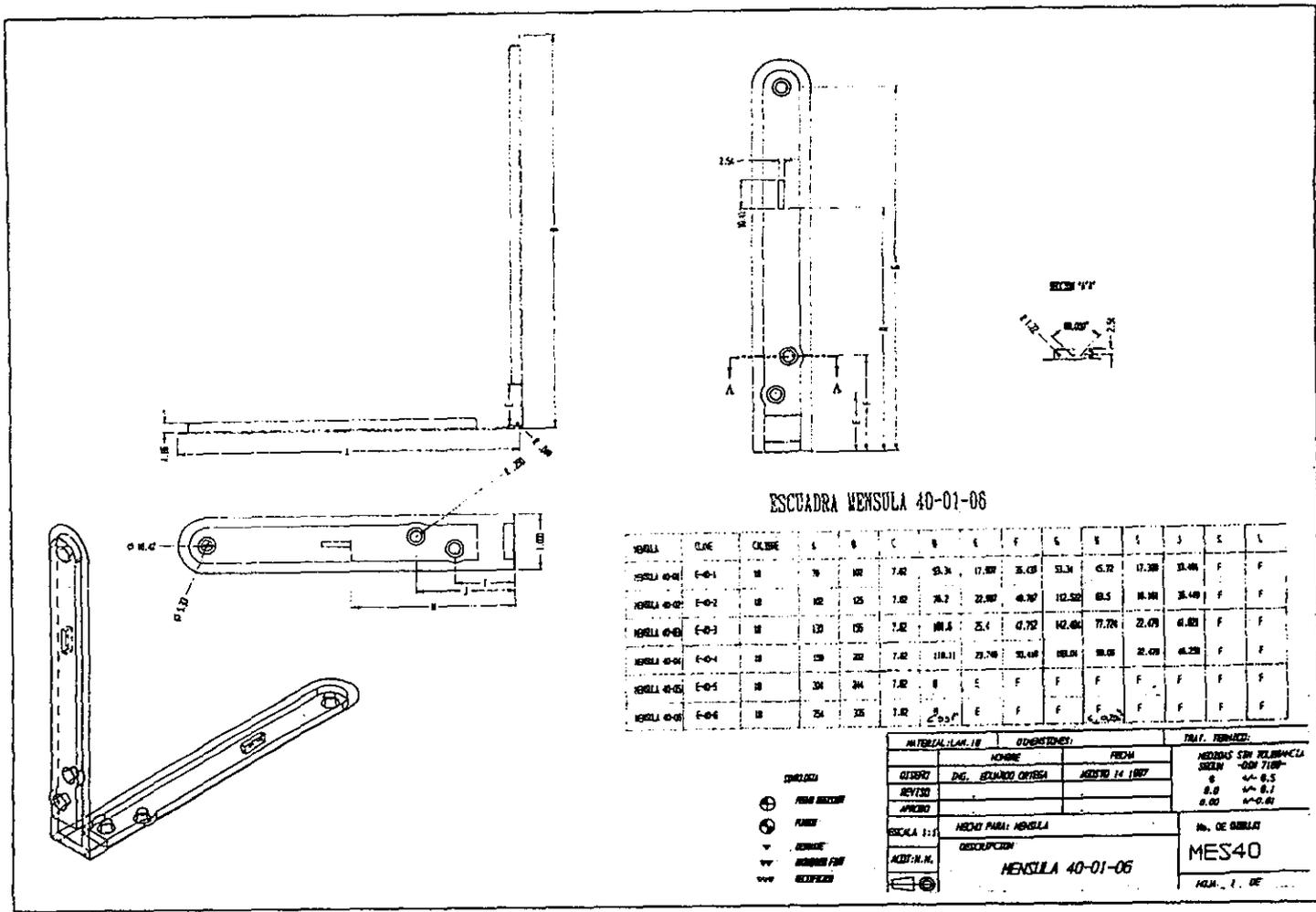


Fig. 2.1 Esquemas de las ménsulas

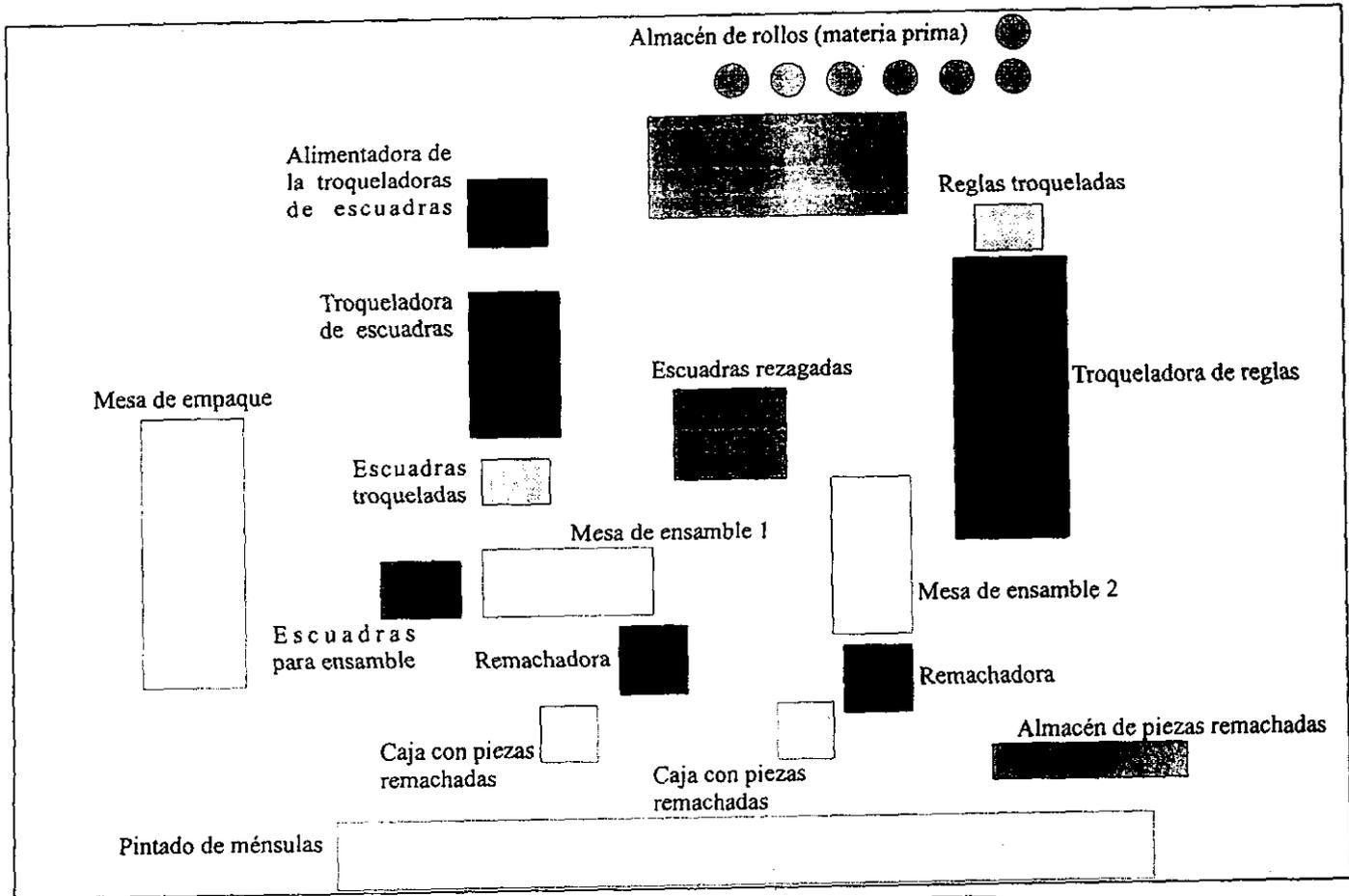


Fig. 2.2 Distribución de las máquinas en la célula a rediseñar.

### 2.3. PROGRAMA DE PRODUCCIÓN DE LAS MÉNSULAS.

El plan de producción presenta las siguientes etapas:

1. Recepción y almacenamiento de la materia prima.
2. Troquelado de reglas y escuadras.
3. Almacenamiento de las partes troqueladas.
4. Ensamble de las partes troqueladas.
5. Almacenamiento de las partes troqueladas.
6. Remache de las ménsulas.
7. Almacenamiento de las ménsulas.
8. Pintado de las ménsulas.
9. Reposo y almacenamiento de las ménsulas.
10. Empaque de las ménsulas.
11. Almacenamiento final.
12. Distribución.

#### 2.3.1. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA ESCUADRA.

El proceso de troquelado de las escuadras consta de las siguientes fases.

- Una vez colocada la cinta de lámina calibre 18 en los alimentadores ésta se sujeta en la prensa donde se troquelará la escuadra.
- Se emplea una prensa con una presión máxima de 100 ton, que produce 50 golpes por minuto.

- La escuadra se realiza en dos movimientos. En el primero se crea en una tira la forma de la escuadra, donde se hacen el embutido, el corte, y el seccionamiento de dicha parte. En la segunda, se le hace el doblado a la escuadra a 90°.
- Una vez doblada y conformada la escuadra, se bota de la prensa y se acomoda en una mesa de manera ordenada.
- Se pueden producir en una hora, idealmente 3000 piezas. Dicha prensa y proceso, presentan una eficiencia de casi el 80%. Con esto, se observa que la producción de escuadras en un día es de aproximadamente 19,200 piezas.

### 2.3.2. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LAS REGLAS.

El proceso de troquelado de las reglas consta de las siguientes fases.

- Se coloca el rollo de materia prima en el alimentador automático.
- Se sujeta la tira de lámina en la prensa. Dicha prensa tiene una capacidad de 60 golpes por minuto, con una presión máxima de 75 ton.
- La producción de las reglas se logra en un solo golpe. En dicho paso, la regla es recortada al tamaño requerido, se le da la forma por medio de embutidos a ambos lados de la regla.
- Una vez producida la regla, se deposita la pieza en una mesa de donde será tomada para el proceso de ensamble.
- Se pueden producir en una hora, idealmente 3600 piezas. Dicha prensa y proceso, presentan una eficiencia de casi el 80%. Con esto, se observa que la producción de reglas en un día es de aproximadamente 28,800 piezas.

### 2.3.3. PROCESO DE ENSAMBLE Y REMACHE.

Una persona toma las piezas (reglas y escuadras) de las mesas en donde son almacenadas una vez que fueron producidas. Dicha persona coloca las piezas en la mesa de ensamble, en donde de manera manual se siguen los siguientes pasos.

- De un lote de escuadras, se toma una cantidad, la cual es deformada reduciendo el ángulo interno, esto con el fin de que al ensamblar la regleta, se quede a  $90^\circ$  la ménsula.
- Se toma una regla y se coloca en el interior de la escuadra, haciendo coincidir las ranuras de la escuadra con las pestañas de la regleta.
- Una vez ensambladas las partes, se deposita la ménsula en la mesa, hasta que otra persona la toma para el remache.
- El remache consiste, en que por medio de una pequeña prensa, se aplica una carga en las pestañas de la regleta, deformándolas plásticamente, con lo cual se garantiza que las piezas quedan unidas y en una posición fija.
- Una vez remachadas las ménsulas, se coloca la pieza en una caja, en donde serán transportadas al proceso de pintado.

## 2.4. SITUACIÓN A MEJORAR

La problemática actual en la célula, es debida a un bajo nivel de la producción, ocasionado por una mala distribución del personal en la célula, así como de un incorrecto procedimiento de operación en las distintas etapas, ocasionando cuellos de botella, que limitan la capacidad de producción, incrementando los costos de producción, y por ende una disminución en las ganancias.

Aunado al aumento de empresas competidoras, que manejan materia prima de segunda calidad, ocasionando que el mercado sea muy competitivo. Orillan a considerar si es conveniente continuar con la producción de ménsulas, debido a los altos costos de producción.

Por esto, es imperativo, lograr aumentar la producción, eliminando los cuellos de botella, balanceando la producción, y mejorando el desempeño de cada operario.

## **CAPÍTULO 3**

### **ANÁLISIS DEL PROBLEMA - ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.**

#### **3.1. MUESTREO DEL NIVEL DE PRODUCCIÓN EN LA CÉLULA**

##### **3.1.1. TROQUELADO DE ESCUADRAS Y REGLAS.**

###### **3.1.1.1. NÚMERO DE OPERADORES.**

El número de operadores en estas operaciones es 1.

###### **3.1.1.2. ACTIVIDADES.**

- El operador checa el troquelado de las escuadras y de las reglas.
- Descuida el troquel y acomoda las piezas troqueladas.
- Alimenta a la prensa:
  - ◆ Ajusta el alimentador para evitar el juego.

- ◆ Corta el sello y lo tira.
  - ◆ Toma el extremo y lo coloca en el alimentador del troquel.
  - ◆ Prueba el troquel, lo ajusta y tira el desecho por ajuste.
- En cuanto a las reglas, toma el lote con una cubeta, y lo deposita en el piso junto a la mesa de ensamble.

#### 3.1.1.3. MUESTREO DE ESCUADRAS.

El muestreo se presenta en la tabla 3.1.

| <i>PIEZAS</i> | <i>TIEMPO</i> |
|---------------|---------------|
| 50            | 1' 1.33"      |
| 50            | 1' 1.35"      |
| 50            | 1' 1.16"      |

**Tabla 3.1.** Muestreo del tiempo de troquelado de escuadras.

Podemos definir que el tiempo promedio es de 50 piezas cada 1' 1".

#### 3.1.1.4. MUESTREO DE REGLAS.

El muestreo se presenta en la tabla 3.2

| <i>PIEZAS</i> | <i>TIEMPO</i> |
|---------------|---------------|
| 50            | 47''          |
| 50            | 49''          |
| 50            | 48''          |

**Tabla 3.2.** Muestreo del tiempo de troquelado de reglas.

Podemos definir que el tiempo promedio para 50 piezas es de 48''.

### 3.1.2. ENSAMBLE.

#### 3.1.2.1. NÚMERO DE MESAS Y DE OPERADORES.

Existen 2 mesas con 2 operadores en cada una.

#### 3.1.2.2. ACTIVIDADES.

- Toman lotes de reglas y escuadras del piso, y los colocan en las mesas.
- Las reglas las colocan de manera desordenada en un montículo.
- Las escuadras las colocan apiladas una sobre otra (aproximadamente bloques apilados verticalmente).
- Toma una escuadra o un lote de ellas, lo doblan, toman una regla y la insertan.
- Depositán la ménsula ensamblada en otro lote (uno personal).

- Uno de la mesa reúne los dos pequeños lotes y lo hace uno grande, o los reúne el que remacha.

### 3.1.2.3. MUESTREO.

El tiempo muestreado se presenta en la tabla 3.3

| <i>OPERADOR TIPO A</i> |               | <i>OPERADOR TIPO B</i> |               |
|------------------------|---------------|------------------------|---------------|
| <i>Piezas</i>          | <i>Tiempo</i> | <i>Piezas</i>          | <i>Tiempo</i> |
| 50                     | 5' 33"        | 50                     | 4' 38"        |
| 50                     | 5' 54"        | 25                     | 3' 2"         |
| 25                     | 3' 12"        | 25                     | 2' 33"        |
| 12                     | 1' 31"        | 10                     | 56"           |
|                        |               | 21                     | 2' 20"        |
|                        |               | 24                     | 2' 50"        |

**Tabla 3.3.** Muestreo del tiempo de ensamble.

De esta forma, podemos establecer que los tiempos promedio de ensamble para ambos tipos, se muestran en la tabla 3.4.

| <i>TIPO DE ENSAMBLE.</i>   | <i>50 PIEZAS.</i> | <i>UNITARIO</i> |
|----------------------------|-------------------|-----------------|
| Tipo A..                   | 6' 25"            | 4' 48"          |
| Tipo B.                    | 7.25"             | 5.77"           |
| Promedio de los dos tipos. | 5' 25.5"          | 6.51"           |

**Tabla 3.4.** Promedios de tiempo en ensamble.

El operador B, toma un pequeño lote de escuadras (6-7), las dobla todas y ensambla una por una.

El operador A, toma una escuadra a la vez, la dobla y la ensambla.

### 3.1.3. REMACHE.

#### 3.1.3.1. NÚMERO DE REMACHADORAS Y OPERADORES.

Hay 2 remachadoras, una junto a cada mesa de ensamble. En cada remachadora se emplea a un operario.

#### 3.1.3.2. ACTIVIDADES.

- Toma el lote de ménsulas ensambladas para remachar, de la mesa de ensamble.
- En ocasiones acomoda los lotes individuales de ensamble para formar un solo lote y de ahí tomar un grupo de ménsulas para remachar.

- Después de acabar de remachar el lote completo, y depositarlo en las cajas, toma dicho lote y lo acomoda en otro lugar.

### 3.1.3.3. MUESTREO.

El muestreo de remachado se muestra en la tabla 3.5.

| <i>PIEZAS.</i> | <i>TIEMPO.</i> |
|----------------|----------------|
| 13             | 30"            |
| 17             | 43"            |
| 15             | 46"            |
| 15             | 34"            |
| 18             | 39"            |
| 16             | 40"            |
| 19             | 46"            |
| 13             | 39"            |
| 10             | 20"            |

**Tabla 3.5.** Muestreo del tiempo de remachado.

Se determina que el tiempo promedio de remachado es de 2.48" por pieza.

### 3.2. DEFICIENCIAS EN EL PROCESO.

Como se puede observar en base a los datos obtenidos por los muestreos, es evidente que el principal cuello de botella que se presenta en la producción, es en la operación de ensamble.

Dicha operación, es manual, y como se observa, existen variaciones en los tiempos, lo que nos hace suponer, que existan diversos procedimientos que los operarios emplean para el ensamble de las ménsulas, lo que origina dichas oscilaciones en el nivel de producción.

Es por ello, que para lograr mejorar el proceso, es imperativo que nos enfoquemos en resolver el cuello de botella en la operación de ensamble. Para esto, es necesario, analizar todos los movimientos de los operarios, para lograr descubrir los diversos procedimientos de operación, y así proponer una mejora y un proceso estandarizado para el ensamble. Dicho análisis se trata en el capítulo 5.

Otro problema existente en la producción, es la falta de datos completos de las ménsulas, con lo cual, no se sabe a ciencia cierta las dimensiones adecuadas ni correctas para la producción de las mismas. Es un hecho que todas las ménsulas se producen con las matrices existentes, pero en caso de que falle una matriz, o se desee cotejar las dimensiones obtenidas con las deseadas, así como la conformación, se presentan enormes problemas. Originando con esto, que la calidad obtenida no sea estable, y por lo tanto, deficiente.

Todo esto ocasiona, que al buscar soluciones para incrementar la eficiencia, se presenten dificultades para evaluar la factibilidad de una mecanización, o en mejor medida, de una automatización.

Ya que dichas soluciones son las que en la actualidad proporcionan una mejora en la eficiencia de la producción.

## **CAPÍTULO 4**

### **CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA ÓPTIMA Y SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA**

#### **4.1. SOLUCIONES AL PROBLEMA DE PRODUCCIÓN.**

Como se ha observado, la producción se hace por un lado, mecánica (troquelado de reglas y escuadras, pintado), y por otro lado, manual (ensamble, remache, empaque). Con lo cual, en base a los datos obtenidos y a los conocimientos sobre las producciones, es claro que la baja productividad, es debido a las operaciones que se realizan manualmente.

Por ello, las opciones más naturales para la solución de este problema, son tratar de mecanizar todo el proceso, o en el mejor de los casos, lograr una automatización.

## 4.2. ENSAMBLE MANUAL, ENSAMBLE MECANIZADO Y ENSAMBLE AUTOMATIZADO.

El ensamble manual de un producto, es realizado por uno o varios obreros, que a su vez, fabrican los componentes a ser ensamblados. Consecuentemente, es necesario para el operador ser un experto en todos los distintos aspectos del trabajo, y el entrenar a un nuevo operador es una larga y costosa labor.

Por ello, la escala de producción está comúnmente limitada por la disponibilidad de los operadores entrenados o calificados, más que por la demanda del producto.

Pero a pesar de todo ello, este tipo de ensamble, sigue siendo el método más empleado. Sin embargo, en ciertos casos, métodos de ensamble más refinados han ido emergiendo.

Como una lógica extensión del principio básico de ensamble en línea, algunos métodos de reemplazo de operadores por elementos mecánicos de ensamble han sido creados.

Aquí, es usual el procurar reemplazar los operadores con elementos automáticos, en donde las operaciones a mejorar son muy simples, y el retener a los operadores para las labores que serían antieconómicas de mecanizar.

#### 4.2.1. ELECCIÓN DEL MÉTODO DE ENSAMBLE.

Cuando se considera el ensamble de un producto, el fabricante debe tomar en cuenta muchos factores que afectan la elección del sistema de ensamble.

Las siguientes consideraciones son las más generales:

- Costo de ensamble.
- Tasa requerida de producción.
- Disponibilidad de la labor.
- Vida en el mercado del producto.

Si un intento se hace para justificar la automatización de una línea de ensamble manual existente, se debe considerar la reubicación de aquellos operadores que son desplazados.

Si una labor es conveniente, el grado de automatización depende de la reducción en el costo de ensamble y del incremento en la tasa de producción lograda por la automatización de la línea de ensamble.

Sin embargo, debe recordarse que, en general, la inversión de capital en la maquinaria automática debe ser amortizada sobre la vida del producto en el mercado, aunque la maquinaria puede ser adaptada al ensamble de algún otro producto. Está claro, que si este no es el caso y la vida del producto en el mercado es corta, la automatización es generalmente no justificable.

Una merma en el trabajo, puede comúnmente conducir al fabricante a considerar el ensamble automático cuando en realidad puede verse que el ensamble manual sería más barato.

Opuestamente, un fabricante puede ser incapaz de automatizar debido a que un empleo adecuado no puede ser encontrado para los operadores que se volverían redundantes.

#### 4.2.2. VENTAJAS DEL ENSAMBLE AUTOMÁTICO<sup>11</sup>.

A continuación, se mencionan algunas ventajas de la automatización.

1. Reducción en el costo de ensamble.
2. Incremento de la productividad.
3. Un producto más consistente.
4. Remoción de operadores de operaciones peligrosas.

La productividad en una sociedad industrial avanzada es una importante medida de la eficiencia en la operación. El incremento de la productividad, aunque no es directamente benéfico a la manufactura a menos que el trabajo sea escaso, es necesario en una economía extensible ya que libera personal para otras tareas.

---

<sup>11</sup> Cfr. Boothroyd Geoffrey, Poli Corrado, *Automatic Assembly*, Marcel Dekker Inc., NY, Usa, 1982.

Está claro, que cuando se pone en uso, la automatización de las líneas de ensamble generalmente reduce el número de operadores requeridos y en consecuencia incrementa la productividad.

Algunas de las tareas de ensamble que un operador puede desarrollar fácilmente son extremadamente difíciles de duplicar aún en los elementos automáticos más sofisticados.

Un operador puede llevar a cabo continuas inspecciones visuales de las piezas a ser ensambladas, y las partes que son obviamente defectuosas, descartarlas. Algunas veces, un sistema de inspección muy elaborado es requerido para detectar aún la pieza defectuosa más obvia.

Si un intento es hecho para ensamblar una pieza que parece ser aceptable pero de hecho es defectuosa, un operador, después de un intento fallido de completar el ensamble, puede rechazar la pieza rápidamente sin una pérdida significativa en la producción. En un ensamble automático, sin embargo, a menos que la pieza sea rechazada por el sistema alimentador, un elemento automático probablemente se detendrá y se perderá tiempo localizando y eliminando la falla.

Si una pieza tiene sólo un defecto menor, un operador es capaz de completar el ensamble, pero el producto resultante no será completamente satisfactorio. Es comúnmente sugerido, que una de las ventajas del ensamble automático es que asegura un producto de una alta calidad consistentemente, debido a que la máquina falla si la pieza no cumple con las especificaciones requeridas.

Una máquina automática de ensamble usualmente consiste de un sistema de transferencia para el movimiento de los elementos a ensamblar de una estación de trabajo a otra, elementos automáticos que realizan las operaciones simples de ensamblado, estaciones de trabajo vacantes para operadores donde realizan las operaciones de ensamblado más complicadas, y estaciones de inspección que las distintas operaciones han sido realizadas satisfactoriamente.

#### 4.3. SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA.

Existen diversos factores a evaluar para considerar la mejor alternativa de ensamble.

Dichos factores son:

- Diseño de las piezas para el ensamble.
- El precio de producción por unidad.
- Confiabilidad de la pieza ensamblada.
- Tiempo de ensamble.
- Tiempo de vida del producto en el mercado.
- Competencia en el mercado.
- Precio en el mercado por unidad.
- Volumen de producción.
- Disponibilidad de área de trabajo.

Con los factores mencionados anteriormente, podemos construir una tabla de valores en base a una escala propuesta. Dicha base se conforma con el valor de representatividad que cada uno de los factores considerados representa para la toma de decisión. Para dicha escala, se toma como el máximo el valor de 1.0 (100%) y como el mínimo 0 (0%). Dicha suma de valores, da un total de 1.0 (100%).

Los valores empleados se muestran en la tabla 4.1.

| Factor                                | Valor de representatividad |
|---------------------------------------|----------------------------|
| Diseño de las piezas para el ensamble | 0.2                        |
| El precio de producción por unidad    | 0.2                        |
| Tiempo de ensamble                    | 0.3                        |
| Tiempo de vida en el mercado          | 0.05                       |
| Volumen de producción                 | 0.15                       |
| Disponibilidad de área de trabajo     | 0.1                        |
| Total                                 | 1.0                        |

**Tabla 4.1.** Factores de evaluación.

Con dichos valores de representatividad podemos crear una tabla comparativa entre los distintos métodos de ensamble, en base a valores que cada uno de estos métodos nos proporcionan según el factor. Dicha escala de valores toma como 10 al valor máximo o más conveniente y a 0 como el mínimo o más inconveniente.

El total de la opción se obtiene de la suma de las multiplicaciones de los valores de los factores con cada uno de los valores del método de ensamble. Dichos valores se presentan en la tabla 4.2.

| Factor                                | Valor | Manual |      | Mecanización |      | Automatización |      |
|---------------------------------------|-------|--------|------|--------------|------|----------------|------|
|                                       |       |        |      |              |      |                |      |
| Diseño de las piezas para el ensamble | 0.2   | 10     | 2    | 6            | 1.2  | 2              | 0.4  |
| El precio de producción por unidad    | 0.2   | 4      | 0.8  | 6            | 1.2  | 7              | 1.4  |
| Tiempo de ensamble                    | 0.3   | 4      | 1.2  | 6            | 1.8  | 8              | 2.4  |
| Tiempo de vida en el mercado          | 0.05  | 5      | 0.25 | 5            | 0.25 | 5              | 0.25 |
| Volumen de producción                 | 0.15  | 4      | 0.6  | 6            | 0.9  | 7              | 1.05 |
| Disponibilidad de área de trabajo     | 0.1   | 10     | 1.0  | 6            | 0.5  | 3              | 0.3  |
| Total                                 | 1.0   |        | 5.85 |              | 5.85 |                | 5.8  |

**Tabla 4.2.** Evaluación de los métodos de ensamble.

Como podemos observar, tomando como parámetro los valores obtenidos de la tabla anterior, la mejor opción está entre mecanizar y continuar con la producción manual.

Por lo general la automatización es la mejor opción, pero debido a que el diseño actual en las ménsulas no es el más conveniente para la automatización, inclusive para la mecanización, sería conveniente continuar con la producción manual, a menos que se cambiara el diseño de las ménsulas.

La deficiencia que presenta el diseño de las ménsulas, es que, debido a la tira empleada para la conformación de la regla y las escuadras, se obtienen dichas piezas con variaciones casi imperceptibles, las cuales sólo son observadas al colocar varias piezas unas con otras, notándose una variación en la localización de los barrenos y las ranuras.

Esto es debido a que la tira de lámina, posee un camber, el cual modifica las piezas, dándoles una curvatura casi imperceptible, pero lo suficientemente consistente para complicar el empleo de alimentadores o ensambladores automáticos.

Otro defecto que presenta la escuadra, es que no presenta simetría en los barrenos, ni en las ranuras donde embonan las pestañas de la regla, lo cual obliga a orientar las piezas antes de ensamblarse. Dicho error, es comprensible en cuanto a la orientación a emplear la ménsula, pero la disposición de ésta, no permite la adecuada orientación, y por lo mismo un error en la distribución de fuerzas.

Dicha orientación de la ménsula, es importante, ya que la producción se hace de manera incorrecta, obligando a una mala orientación en el uso. Es por esto, que el diseño de la ménsula debe ser reconsiderado.

Un factor importante, es el hecho de que el espacio disponible para el trabajo de producción de ménsulas, está restringido. Ya que para la automatización, se requeriría tal vez de bandas transportadoras y algunas máquinas, para lo cual sería necesaria un área de trabajo *más amplia, generando un incremento en los gastos y una redistribución global del espacio de trabajo.*

Un hecho a considerar, es que la competencia se ha incrementado notablemente en los últimos años, lo cual representa un gran problema. Dicha competencia emplea material de segunda mano, y por lo tanto de menor calidad, lo que origina que sus costos de producción disminuyan, por ende, el costo en el mercado sea más competitivo y accesible que el requerido por INDUSTRIAS GAMO S.A.

Debido a esto, se ha considerado dejar de producir ménsulas, ya que el gasto generado y las ganancias obtenidas no representan una buena inversión. Por ende, al no llegar a una solución ideal, la vida del producto en el mercado sería limitada, no permitiendo así recuperar la inversión requerida para mecanizar, menos aún, automatizar.

Por todo esto, la óptima solución en la actualidad, sería mejorar la eficiencia en el ensamble manual, empleando el análisis de los puestos de trabajo y procurando reducir el tiempo de ensamble; al mejorar los movimientos de los obreros, y reorganizando las labores de los obreros.

Se propone la automatización, como un método a emplear, después de recuperar el mercado, logrando el máximo de producción en el ensamble manual.

## **CAPÍTULO 5**

### **ANÁLISIS EN EL CAMPO.**

#### **5.1. INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE MÉTODOS.**

Con el estudio de métodos, llevamos a cabo un registro, así como exámenes críticos, sistemáticos de los modos existentes y proyectados en la realización de un trabajo, con el fin de idear métodos más sencillos y eficaces de reducir tiempos, movimientos y costos.

Con este estudio, logramos mejorar los procesos y procedimientos, economizamos el esfuerzo humano y mejoramos la utilización de los materiales y la maquinaria. Evitando los cuellos de botella, grandes desplazamientos de materiales, operaciones repetitivas, etc.

##### **5.1.1. ESTUDIO DE MICROMOVIMIENTOS.**

Para el estudio de las operaciones que se realizan manualmente, es necesario realizar un estudio de micromovimientos.

Dicho estudio se emplea en operaciones de ciclo muy cortos y repetitivos. El estudio de micromovimientos se basa en la idea de dividir la actividad humana por movimientos o grupos o grupo de movimientos. Dicha división se hace en la siguiente forma:

**OPERACIONES**, que se dividen en **ACTIVIDADES**, que se dividen en **PASOS**, que se dividen en **MOVIMIENTOS**, compuestos por último por **DESPLAZAMIENTOS**.

Para una fácil identificación, se emplea el uso de los siguientes símbolos para indicar la división de la operación en sus diversos elementos. Dichos símbolos se muestran en la fig. 5.1.

| <b>Acción</b>  | <b>Símbolo</b> |
|----------------|----------------|
| Actividad      | •              |
| Paso           | ∨              |
| Movimiento     | ▪              |
| Desplazamiento | ❖              |

**Fig. 5.1** Símbolos para la identificación de los elementos en las operaciones.

## 5.2. ANÁLISIS DE LOS MOVIMIENTOS EN LAS OPERACIONES DE ENSAMBLE.

Se analizaron dos tipos de ensambles, los más representativos de los existentes que emplean los operarios. Para dicho estudio, se empleó el uso de una videofilmación, que se estudió, desglosando los diversos movimientos que desarrollan los operarios. Dicha secuencia de acciones se representan en la Fig. 5.3 y 5.4. La simbología empleada en la representación de las operaciones se muestra en a fig. 5.2.

| <i>ELEMENTO</i>                | <i>SÍMBOLO</i> |
|--------------------------------|----------------|
| Reglas.                        |                |
| Escuadras.                     |                |
| Ménsula.                       |                |
| Mesa de ensamble.              |                |
| Lote de reglas.                |                |
| Lote de escuadras.             |                |
| Lote de ménsulas.              |                |
| Operario.                      |                |
| Reglas agrupadas y orientadas. |                |
| Remachadora.                   |                |

**Fig. 5.2** Simbología de representación en las operaciones.

### 5.2.1. ANÁLISIS DEL ENSAMBLE TIPO A.

#### *Actividades:*

- Operaciones con reglas.

#### *Pasos:*

- Agacharse para tomar lote de reglas.
- Depositarlas en la mesa.

- Operaciones con escuadras.

#### *Pasos:*

- Agacharse para tomar lote de escuadras.
- Acomodarlas apilándolas en la mesa.

- Ensamble.

#### *Pasos:*

- Tomar escuadra.

#### *Movimientos:*

- Mano izquierda toma una escuadra.

#### *Desplazamientos:*

- ❖ Levanta la mano izquierda para tomar escuadra más próxima.
- ❖ Apoya mano en lote de escuadras.
- ❖ Con el dedo pulgar toma la 1er. Escuadra.
- ❖ Levanta pulgar y gira la escuadra, cerrando los demás dedos de la mano, la toma de un extremo (el más largo).
- ❖ Se acerca la escuadra.

➤ Doblar la escuadra.

*Movimientos:*

- Baja la escuadra hasta la mesa.

*Desplazamientos:*

- ❖ Movimiento vertical del brazo.

- Inclina la escuadra.

*Desplazamientos:*

- ❖ Movimiento ascendente de muñeca.

- Baja (golpea) una punta de la escuadra contra la mesa.

*Desplazamientos:*

- ❖ Desplazamiento vertical del brazo.

- Rebota la escuadra (se levanta).

*Desplazamientos:*

- ❖ Levanta el brazo.

- ❖ Vuelve a bajarlo.

- ❖ Apoya firmemente la escuadra.

- Desliza la mano a la parte superior de la escuadra.

- Con 2 dedos sujeta la escuadra de la punta.

➤ Tomar regla del lote.

- Mano derecha toma la regla.

- ❖ Mano derecha se extiende al lote.

- ❖ Toma regla. con el brazo semidoblado.

- ◆ Si toma la regla de la parte superior del lote, la levanta tomándola con 2 dedos.

- ◆ Si toma la regla de la parte inferior del lote, la arrastra hasta el borde de la mesa.
  - ❖ Levanta la regla con la mano derecha.
  - ❖ Orienta la regla.
  - ❖ Apoya una punta de la regla en la mesa.
- Insertar un lado de la regla en la escuadra.
- Mano izquierda apoya la escuadra contra la mesa.
  - Mano derecha acerca la regla.
    - ❖ Movimiento rotacional del codo.
  - Mano derecha inserta una pestaña (inferior).
    - ❖ Mano derecha gira, en sentido horario.
  - Corrige posición de la pestaña.
    - ❖ Mano derecha gira, en sentido antihorario.
  - Inclina escuadra y regla.
    - ❖ Extiende ambos brazos.
  - Mano izquierda empuja extremo de la escuadra, (desdoblamiento).
    - ❖ Emplea 2 dedos para desdoblar.
    - ❖ Extiende el brazo.
  - Mano derecha detiene el extremo de la escuadra.
    - ❖ 3-4 dedos detienen la regla.
    - ❖ Muñeca doblada, (flexionada hacia abajo).
    - ❖ Brazo semidoblado.
- Insertar el otro lado de la regla en la escuadra.
- Gira regla para que coincida la otra pestaña con la acanaladura.

- ❖ Giro antihorario de la muñeca.
  - Desciende la regla.
    - ❖ Movimiento vertical de la muñeca.
  - Desliza mano izquierda a la unión superior de la regla y la escuadra.
    - ❖ Flexión del brazo.
  - Toma con todos los dedos la escuadra.
  - Inserta la pestaña con la mano derecha.
    - ❖ Movimiento descendiente de la muñeca.
    - ❖ Extiende brazo.
- Depositar la ménsula en el lote de ménsulas.
    - Baja la ménsula.
      - Libera mano derecha.
        - ❖ Abre la mano.
      - Gira hacia ella la ménsula.
        - ❖ Recoge brazos.
        - ❖ Gira muñeca.
      - Apoya la ménsula en la mesa.
      - Desliza ménsula hacia ella.
        - ❖ Flexiona brazos.
    - Toma la ménsula por la regla con la mano derecha.
      - Toma la ménsula por la regla de su centro.
        - ❖ Cierra la mano.
    - Libera mano izquierda.

- Suelta la ménsula.
  - ❖ Abre la mano.
- Levanta ménsula con mano derecha.
  - Movimiento vertical.
- Gira la ménsula.
  - Gira la mano derecha.
    - ❖ Giro horario de la muñeca.
- Coloca mano izquierda en lote de escuadras.
  - Desplaza el brazo flexionado.
    - ❖ Desplazamiento exterior del hombro.
  - Baja mano en el lote.
- Coloca la ménsula en el lote con la mano derecha.
  - Extensión del brazo para colocar la ménsula en el lote frontal.
    - ❖ Extensión del brazo (codo) derecho.
    - ❖ Se inclina hacia delante.
  - Baja el brazo.
    - ❖ Flexión del codo.
  - Flexiona la muñeca para depositar en el lote.
    - ❖ Flexión descendiente de la muñeca.
  - Coloca el vértice de la ménsula en el centro de otra del lote.
    - ❖ Con 2 dedos toma la regla.
  - Se gira y se acomoda la ménsula.
    - ❖ Brazo completamente extendido.
    - ❖ Dobla ascendentemente la muñeca.

- ❖ Empuja las ménsulas del lote.
- ❖ Baja la ménsula.
- Recoge brazo derecho.
  - ❖ Recoge hacia atrás el cuerpo.
  - ❖ Contrae codo y hombro.
- Disposición del brazo derecho para reiniciar el ciclo.
  - Giro del hombro hacia el exterior.
    - ❖ Baja el codo y flexiona la muñeca.

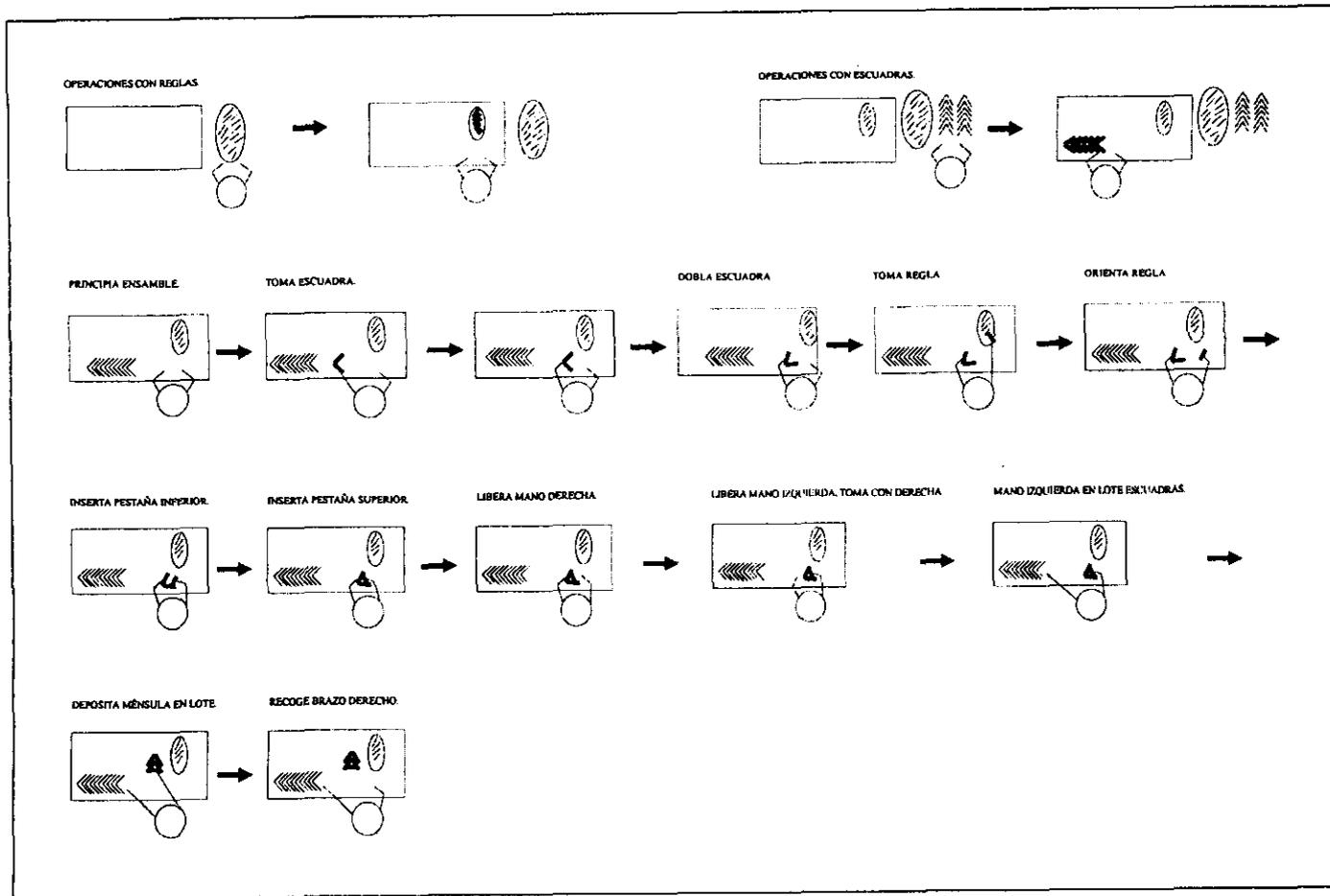


Fig. 5.3 Representación de la operación de ensamble tipo A.

### 5.2.1.1. COMENTARIOS AL PROCESO DE ENSAMBLE TIPO A.

- En las actividades donde el operador que ensambla se agacha para tomar las reglas y escuadras, podemos observar que se presenta una actividad que no debería ser realizada por este operario, ya que le quita tiempo, obligándolo a realizar un esfuerzo mayor durante el manejo de las piezas, causando así, un cuello de botella. Por lo que califico a esta actividad como **innecesaria**.
- Una recomendación, es que el lote de escuadras del cual el operador tomará cada escuadra, debe estar lo más próximo al operador, con lo que *ahorra tiempo y esfuerzo*. Otra sugerencia, sería que las escuadras estuvieran en posición vertical, facilitando así tomarlas y desplazarlas a la posición de ensamble. Tal vez, poner algún dispositivo de alimentación.
- El paso en donde se dobla la escuadra, debería ser realizada por una persona que no fuera el ensamblador, ya que también le quita tiempo, y lo obliga a realizar un esfuerzo extra. Posiblemente, la escuadra debería ser doblada durante el proceso de troquelado, ya sea por la prensa o por el operador. Por lo que también juzgaría este paso como **innecesario**.
- Otra recomendación, en cuanto al lote de reglas, es que éste debería estar en una posición cercana al operador.

- El desplazamiento durante el movimiento de la mano derecha que toma la regla, en el paso de tomar la regla del lote, en la actividad de ensamble, en donde se toma la regla con el brazo semidoblado, se orienta la regla y se apoya una punta de la regla en la mesa, nos ocasiona una pérdida de tiempo. Debemos evitar arrastrar la regla al borde de la mesa, por lo que las reglas deberían estar dispuestas ordenadamente y orientadas, procurando que el operario pueda asir la regla correcta y firmemente.
- En la actividad de depositar la ménsula en el lote, en el paso de bajar la ménsula, no es necesario que libere primero la mano derecha, luego que mueva la ménsula y después vuelva a tomar la ménsula con la mano derecha para depositarla. Por lo que este paso es **innecesario**.
- Una sugerencia en la actividad de depositar la ménsula en el lote, en el paso de levantar la ménsula con la mano derecha, es que no es necesario subir mucho la mano derecha para desplazar la ménsula.
- Una recomendación en el paso de colocar la ménsula en el lote con la mano derecha, es que dicho lote esté a una distancia próxima al operador, en donde con el movimiento natural del antebrazo, se logre la realización de esta actividad.
- En dicho paso, no es necesario el movimiento de bajar el brazo, si no se ha subido mucho al principio.

- En dicho paso, no es necesario que en el movimiento de recoger el brazo derecho, se produzca el desplazamiento en el que se recoge el cuerpo. Por lo que es un desplazamiento **innecesario**.

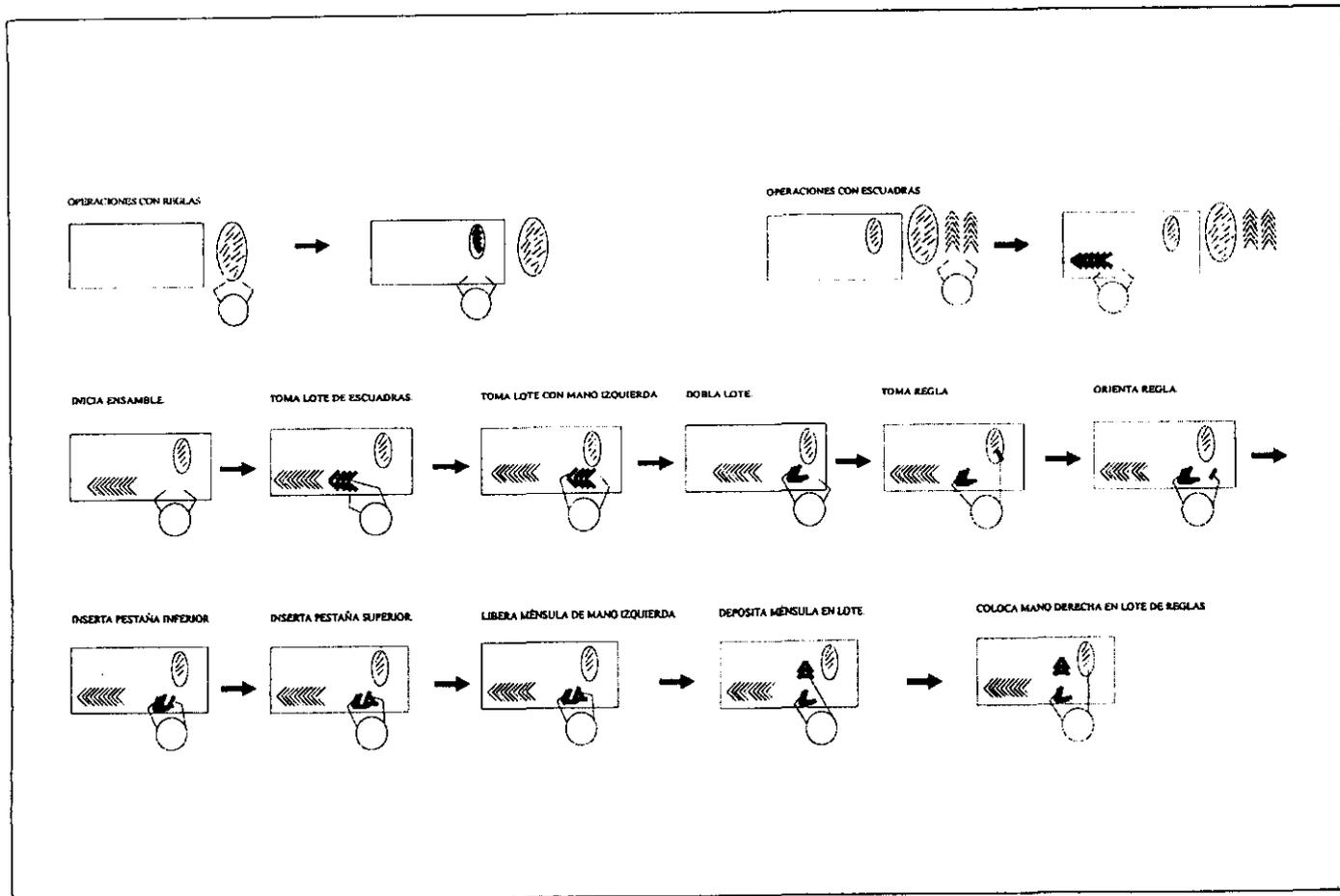
### 5.2.2. ANÁLISIS DEL ENSAMBLE TIPO B.

- Operaciones con escuadras.
  - Agacharse para tomar lote de escuadras.
  - Acomodarlas apilándolas en la mesa.
- Operaciones con reglas.
  - Agacharse para tomar lote de reglas.
  - Depositarlas en la mesa.
- Ensamble.
  - Toma lote de escuadras.
    - Mano derecha toma lote de escuadras (de 6 a 7 escuadras).
      - ❖ Gira brazo derecho al lote.
      - ❖ Baja la mano.
      - ❖ Toma un lote pequeño con la mano del vértice de las escuadras.
      - ❖ Levanta el lote.
      - ❖ Regresa (gira) el brazo para colocar enfrente de ella el lote.
  - Doblamiento del lote.
    - Mano izquierda toma el lote.

- ❖ Gira brazo izquierdo al centro para tomar el lote de la mano derecha.
- ❖ Toma con la mano del extremo más largo las escuadras.
- ❖ Suelta el lote la mano derecha.
- ❖ Gira (muñeca) el lote.
- Baja (golpea) el lote para doblarlo.
  - ❖ Levanta el lote con la mano izquierda.
  - ❖ Baja el lote pegando contra la mesa de la punta inferior de la escuadra.
  - ❖ Rebota el lote de escuadras.
  - ❖ Levanta el lote.
  - ❖ Baja y apoya el lote contra la mesa.
- Toma una regla del lote.
  - Mano derecha toma la regla.
    - ❖ Brazo derecho gira y se estira al lote de reglas.
    - ❖ Con tres dedos toma una regla.
    - ❖ Levanta la regla.
    - ❖ Gira la muñeca en sentido horario.
    - ❖ Gira el codo hacia el centro.
- Inserta las pestañas de la regla en las ranuras de la escuadra.
  - Mano izquierda toma de un extremo la regla para afirmarla con la mano derecha.
    - ❖ Con tres dedos de la mano izquierda sujeta el extremo de la regla.
    - ❖ Si está mal la posición de la regla, libera la mano izquierda y gira la muñeca derecha.
    - ❖ Sujeta nuevamente con la mano izquierda la regla.

- Mano derecha sujeta la regla con todos los dedos.
    - ❖ Cierra dedos de la mano derecha.
  - Inserta el extremo inferior de la regla en la ranura de la escuadra.
    - ❖ Gira la muñeca en sentido horario.
    - ❖ Baja la mano para insertar la pestaña, con la regla ladeada.
    - ❖ Inserta la pestaña, gira la regla para rectificar la posición de la pestaña y jala la escuadra del lote para insertar la pestaña superior.
  - Inserta el extremo superior de la regla.
    - ❖ Gira y ladea la escuadra.
    - ❖ Detiene la escuadra con tres dedos de la mano izquierda de su extremo superior mientras detiene el lote con el resto.
    - ❖ Gira la muñeca con la regla para alinear la pestaña con la punta superior.
    - ❖ Inserta la pestaña.
- Deposita la ménsula en el lote.
    - Libera la ménsula de la mano izquierda.
      - Libera la ménsula de la mano izquierda.
        - ❖ Suelta los dedos de la ménsula.
        - ❖ Sujeta el lote de escuadras.
    - Coloca la ménsula en el lote.
      - Mano derecha desplaza la ménsula.
        - ❖ Gira la muñeca en sentido horario, tomando la ménsula de la regla, para evitar que choque con las escuadras al desplazarse.
        - ❖ Gira la muñeca en sentido antihorario para orientar la ménsula.

- ❖ Estira el brazo derecho para llegar al lote.
- Coloca la ménsula.
  - ❖ Flexiona hacia abajo la muñeca para colocar la ménsula en el lote (el vértice en el centro de la otra ménsula).
  - ❖ Estira el brazo para alinear la ménsula.
  - ❖ Empuja el lote de ménsula.
- Recoge la mano.
  - Libera ménsula de la mano derecha.
    - Abre la mano derecha.
  - Recoge el brazo derecho.
    - Gira el brazo, mueve el codo para tomar otra regla del lote.



**Fig. 5.4** Representación de la operación de ensamble tipo B.

### 5.2.2.1. COMENTARIOS AL PROCESO DE ENSAMBLE TIPO B.

- De manera análoga al proceso de ensamble tipo A, las actividades en donde se recogen y depositan las reglas y escuadras en las mesas de trabajo, deben ser realizadas por otro operario. Por lo que es una actividad **innecesaria**.
- En la actividad de ensamble, el paso de tomar el lote de escuadras se realiza con la mano derecha, un movimiento natural del operador que es diestro, por lo cual es recomendable acostumbrar al operario a tomar el lote con la mano izquierda, para reducir el tiempo del proceso, ya que durante este paso, se puede realizar algún otro paso con la mano derecha.
- En dicha actividad de ensamble, el paso del doblamiento del lote, debe ser realizado por otro operador, evitando así pérdida de tiempo y esfuerzo. Por lo que es un paso **innecesario**.
- Una recomendación, sería que el lote de reglas esté próximo al operario, en una posición ordenada y orientada, con lo cual el operador ahorra tiempo y movimientos.
- El paso de orientar la regleta para insertar las pestañas de la regla en las ranuras de la escuadra, lo eliminamos si cumplimos con la sugerencia anterior. Por ello, es un paso **innecesario**.
- En la actividad de depositar la ménsula en el lote, el paso de colocar la ménsula, se simplifica, si el lote de ménsulas ensambladas no está completamente a su izquierda,

sino al frente y un poco a la izquierda, en donde de manera natural el operador gire el antebrazo para colocar la ménsula.

- Una recomendación, sería el que el lote de reglas esté cerca del lote de ménsulas ensambladas, con lo cual se reduce el tiempo de traslado del brazo del operario.

### 5.3. ANÁLISIS DE LOS MOVIMIENTOS EN LA OPERACION DE REMACHE.

- Toma lote de ménsulas y las coloca en la charola.
  - Gira a su izquierda 90°.
    - Pone punto de giro.
      - ❖ Desplaza pie izquierdo a un lado.
    - Mueve el cuerpo.
      - ❖ Lleva todo el cuerpo al lado izquierdo.
      - ❖ Se apoya en pie izquierdo.
  - Gira el cuerpo.
    - ❖ Levanta pie derecho.
  - Desplaza pie derecho para apoyo.
    - ❖ Gira cintura y recoge pie derecho.
- Toma lote con ambas manos.
  - Se estira para tomar lote.
    - ❖ Se para de puntas.
    - ❖ Estira cuerpo.

- ❖ Estira brazos.
- ❖ Se encorva.
- Con ambas manos toma el lote.
- ❖ Ambas manos a cada extremo.
- Levanta lote.
- ❖ Recoge brazos.
- Deposita en la charola.
  - Pierna izquierda es pivote para giro.
  - Gira el cuerpo.
  - Desplazamiento de pierna derecha a un costado.
  - Recoge pie izquierdo.
  - Gira tronco a posición alineada para remache.
  - Baja brazos para colocar lote en la charola.
  - Coloca lote en charola de manera frontal.
  - ❖ Mano izquierda atrás.
  - ❖ Mano derecha adelante.
- Remacha cada una de las ménsulas.
  - Toma cada una.
    - Toma cada una con mano izquierda.
    - ❖ Libera lote de la mano izquierda.
    - ❖ Recoge brazo.
    - ❖ Desplaza al frente.
    - ❖ Baja la mano (extendida).

**ESTA TESIS  
SALIR DE LA  
NO DEBE  
BIBLIOTECA**

- ❖ Mano derecha recorre el lote.
- ❖ Toma 1 ménsula de su vértice.
- Coloca en la remachadora.
  - Coloca en la matriz.
    - ❖ Levanta la ménsula y la gira.
    - ❖ Estira brazo izquierdo.
  - Sujeta la ménsula con la mano derecha.
    - ❖ Mano derecha libera el lote.
    - ❖ Se extiende para sujetar de la regla a la ménsula
    - ❖ La presiona contra la matriz con los dedos doblados.
  - Libera mano izquierda.
  - Recoge mano izquierda para colocar en el lote y tomar la siguiente ménsula.
- Remache.
  - Pie derecho acciona la prensa.
    - ❖ Desplaza pie hacia el pedal.
    - ❖ Presiona el pedal y acciona la prensa.
  - Libera la presión (acción de la prensa).
    - ❖ Levanta pie.
- Deposita en el lote.
  - Toma la ménsula.
    - Mano derecha toma la ménsula del vértice.
      - ❖ Mano derecha libera la regla.
      - ❖ Desplazamiento vertical y giro de muñeca.

- ❖ Toma con 2 dedos a la ménsula de su vértice.
- Desplazamiento.
  - Quita la ménsula de la matriz y coloca en el lote.
    - ❖ Brazo derecho funciona como palanca.
    - ❖ Recoge el brazo.
    - ❖ Gira el brazo a un costado (codo).
    - ❖ Suelta la ménsula y cae aleatoriamente.
  - Coloca la nueva ménsula.

El proceso de remache se representa en la fig. 5.5.

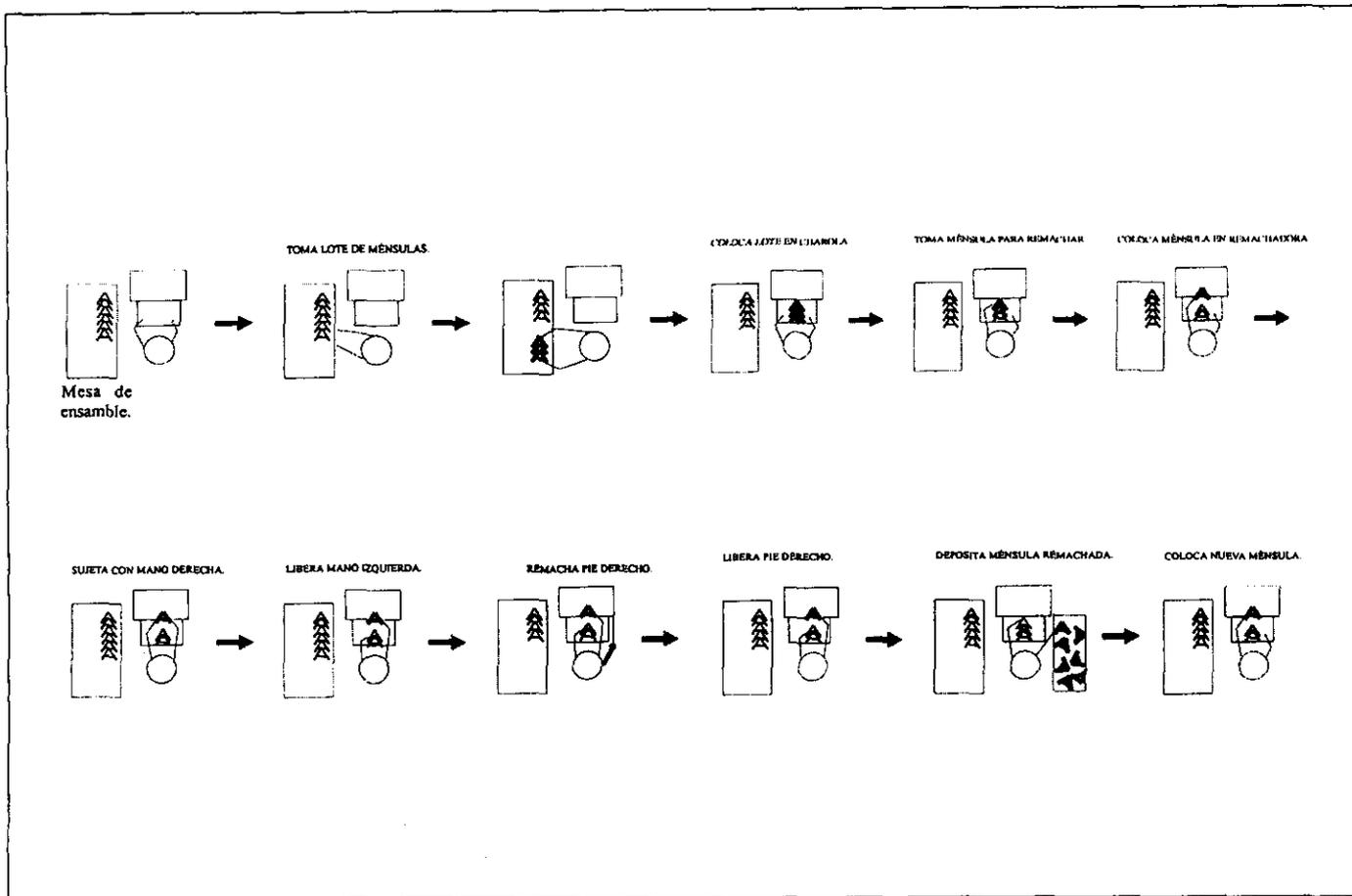


Fig. 5.5 Representación de la operación de remache.

### 5.3.1. COMENTARIOS AL PROCESO DE REMACHE.

- En la actividad de tomar el lote de ménsulas ensambladas, podríamos colocar el lote enfrente a un costado para evitar que se gire completamente 90°. Sería colocado cerca, para que sólo gire la cintura y estire los brazos para tomar el lote a remachar.
- Al tomar el lote, el operador, no debe estirarse mucho.
- Se debe evitar que el operador para tomar el lote, tenga que levantarse de puntas, ya que se cansa y pierde tiempo. Por lo que este desplazamiento es **innecesario**.
- Podríamos evitar que el operador levantara el lote ensamblado, si éste le quedara a una altura ergonómica. Podría ser subiendo la mesa de ensamble, o que otro operador se lo colocara en un alimentador.
- Debemos evitar que el operario que remache tenga que juntar las piezas ensambladas.
- En la actividad de depositar la ménsula remachada en el lote, podríamos reducir el desplazamiento, si solo toma la ménsula y gire el antebrazo, sin levantar la ménsula.

## **CAPÍTULO 6.**

### **PROPUESTA DE REORGANIZACIÓN DEL TRABAJO EN LA CÉLULA.**

#### **6.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN EXISTENTE.**

En base a la situación actual, en donde se presentan diversidad de tiempos y actividades improductivas, se puede proponer un nuevo método de ensamble y remachado.

Dicha secuencia de operaciones se fundamenta en una depuración de las actividades productivas, y la eliminación de aquéllas que limitan el nivel de producción.

Se hacen algunas consideraciones en la propuesta de las operaciones, por lo que es necesario implementarlas, para el logro eficaz de la mejora en la producción. Dichas recomendaciones se denotarán con letra cursiva al extremo derecho de la página, en el momento oportuno.

Las propuestas de operaciones de ensamblado y remachado se muestran en la fig.

6.1 y 6.2.

## 6.2. PROPUESTA EN EL PROCESO DE ENSAMBLE.

*Las reglas y escuadras deben ser colocadas en la mesa por una persona externa al ensamble.*

- Ensamble.
  - Toma lote de escuadras.
    - Mano izquierda toma lote de escuadras (de 6 a 7 escuadras).
      - ❖ Gira brazo izquierdo al lote.
      - ❖ Baja la mano.
      - ❖ Toma un lote pequeño del vértice de las escuadras con la mano.
      - ❖ Levanta el lote. *Las ménsulas ya deben estar dobladas para no perder tiempo.*
      - ❖ Regresa (gira) el brazo para colocar enfrente de ella el lote.
    - Apoya el lote.
      - ❖ Baja la mano izquierda.
      - ❖ Apoya las ménsulas tomándolas del extremo más largo, y el más corto colocado en la mesa.
  - Toma una regla del lote.
    - Mano derecha toma la regla.
      - ❖ Estira el brazo derecho al lote de reglas.
      - ❖ Con tres dedos toma una regla.

- ❖ Levanta la regla.
- ❖ Gira la muñeca en sentido horario.
- ❖ Gira el codo hacia el centro.
- Inserta las pestañas de la regla en las ranuras de la escuadra.
  - Inserta el extremo inferior de la regla en la ranura de la escuadra.
    - ❖ Gira la muñeca en sentido horario.
    - ❖ Baja la mano para insertar la pestaña, con la regla ladeada.
    - ❖ Inserta la pestaña, gira la regla para rectificar la posición de la pestaña y jala la escuadra del lote para insertar la pestaña superior.
  - Inserta el extremo superior de la regla.
    - ❖ Gira y ladea la escuadra.
    - ❖ Detiene la escuadra con tres dedos de la mano izquierda de su extremo superior mientras detiene el lote con el resto.
    - ❖ Gira la muñeca con la regla para alinear la pestaña con la punta superior.
    - ❖ Inserta la pestaña.
- Deposita la ménsula en el lote.
  - Libera la ménsula de la mano izquierda.
    - Libera la ménsula de la mano izquierda.
      - ❖ Suelta los dedos de la ménsula.
      - ❖ Sujeta el lote de escuadras.
  - Coloca la ménsula en el lote.
    - Mano derecha desplaza la ménsula.
      - ❖ Gira el brazo derecho para llegar al lote, pero solo un poco.

- Coloca la ménsula.
  - ❖ Flexiona hacia abajo la muñeca para colocar la ménsula en el lote (el vértice en el centro de la otra ménsula).
  - ❖ Estira el brazo para alinear la ménsula.
  - ❖ Empuja el lote de ménsulas.
  
- Recoge la mano.
  - Libera ménsula de la mano derecha.
    - Abre la mano derecha.
  - Recoge el brazo derecho.
    - Gira el brazo, mueve el codo para tomar otra regla del lote.

*Podríamos reducir el tiempo de traslado, si el lote de reglas está cerca del lote de ménsulas ensambladas.*

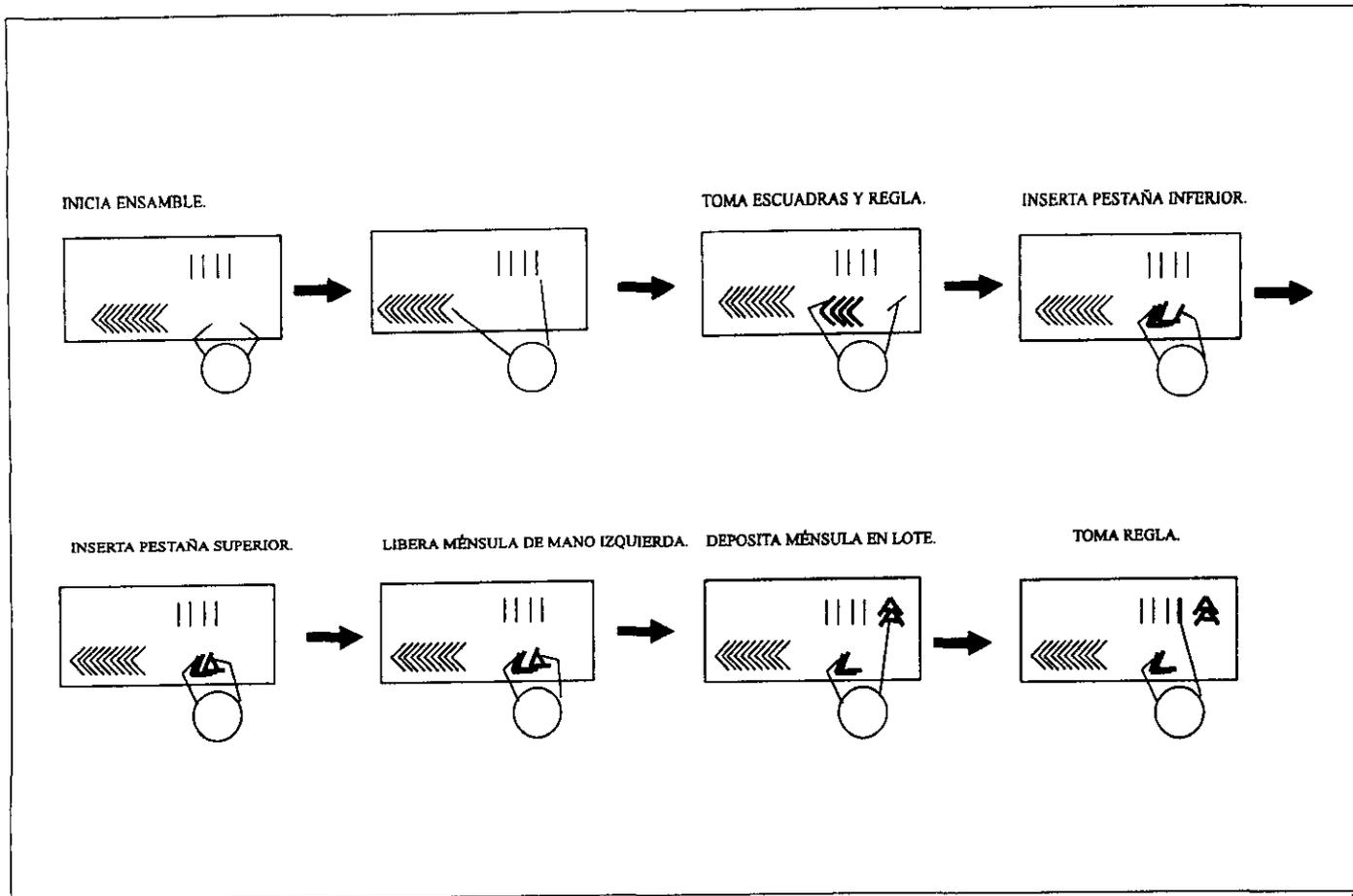


Fig. 6.1 Representación de la propuesta de ensamble.

### 6.3. PROPUESTA EN EL PROCESO DE REMACHE.

- Toma lote de ménsulas y las coloca en la charola.
  - Gira a su izquierda la parte superior de su cuerpo 30 a 45°. *Tener una plataforma de donde tome el lote a la misma altura que la charola de remache. Esta plataforma debe estar al frente y a un costado.*
    - Giro del tronco únicamente.
    - ❖ Pies fijos en la misma posición.
    - ❖ Estira los brazos.
    - ❖ Gira el tronco.
  - Toma lote con ambas manos.
    - Con ambas manos toma el lote. *Debemos evitar que el operario que remache tenga que reunir su lote.*
    - ❖ Ambas manos a cada extremo.
    - Arrastra el lote y lo levanta un poco.
    - ❖ Recoge brazos.
  - Deposita en la charola.
    - Gira la parte superior del cuerpo a la posición inicial.
    - Baja brazos para colocar lote en la charola.
    - Coloca lote en charola de manera frontal.
      - ❖ Mano izquierda atrás.
      - ❖ Mano derecha adelante.
- Remacha cada una de las ménsulas.
  - Toma cada una.

- Toma cada una con mano izquierda.
  - ❖ Libera lote de la mano izquierda.
  - ❖ Recoge brazo.
  - ❖ Desplaza al frente.
  - ❖ Baja la mano (extendida).
  - ❖ Mano derecha recorre el lote.
  - ❖ Toma 1 ménsula de su vértice.
- Coloca en la remachadora.
  - Coloca en la matriz.
    - ❖ Levanta la ménsula y la gira.
    - ❖ Estira brazo izquierdo.
  - Sujeta la ménsula con la mano derecha.
    - ❖ Mano derecha libera el lote.
    - ❖ Se extiende para sujetar de la regla a la ménsula
    - ❖ La presiona contra la matriz con los dedos doblados.
  - Libera mano izquierda.
  - Recoge mano izquierda para colocar en el lote y tomar la siguiente ménsula.
- Remache.
  - Pie derecho acciona la prensa.
    - ❖ Desplaza pie hacia el pedal.
    - ❖ Presiona el pedal y acciona la prensa.
  - Libera la presión (acción de la prensa).
    - ❖ Levanta pie.

- Deposita en el lote.
  - Toma la ménsula.
    - Mano derecha toma la ménsula del vértice.
      - ❖ Mano derecha libera la regla.
      - ❖ Desplazamiento vertical y giro de muñeca.
      - ❖ Toma con 2 dedos a la ménsula de su vértice.
  - Desplazamiento.
    - Quita la ménsula de la matriz y coloca en el lote.
      - ❖ Gira el brazo a un costado (codo).
      - ❖ Suelta la ménsula y cae aleatoriamente.
    - Coloca la nueva ménsula.

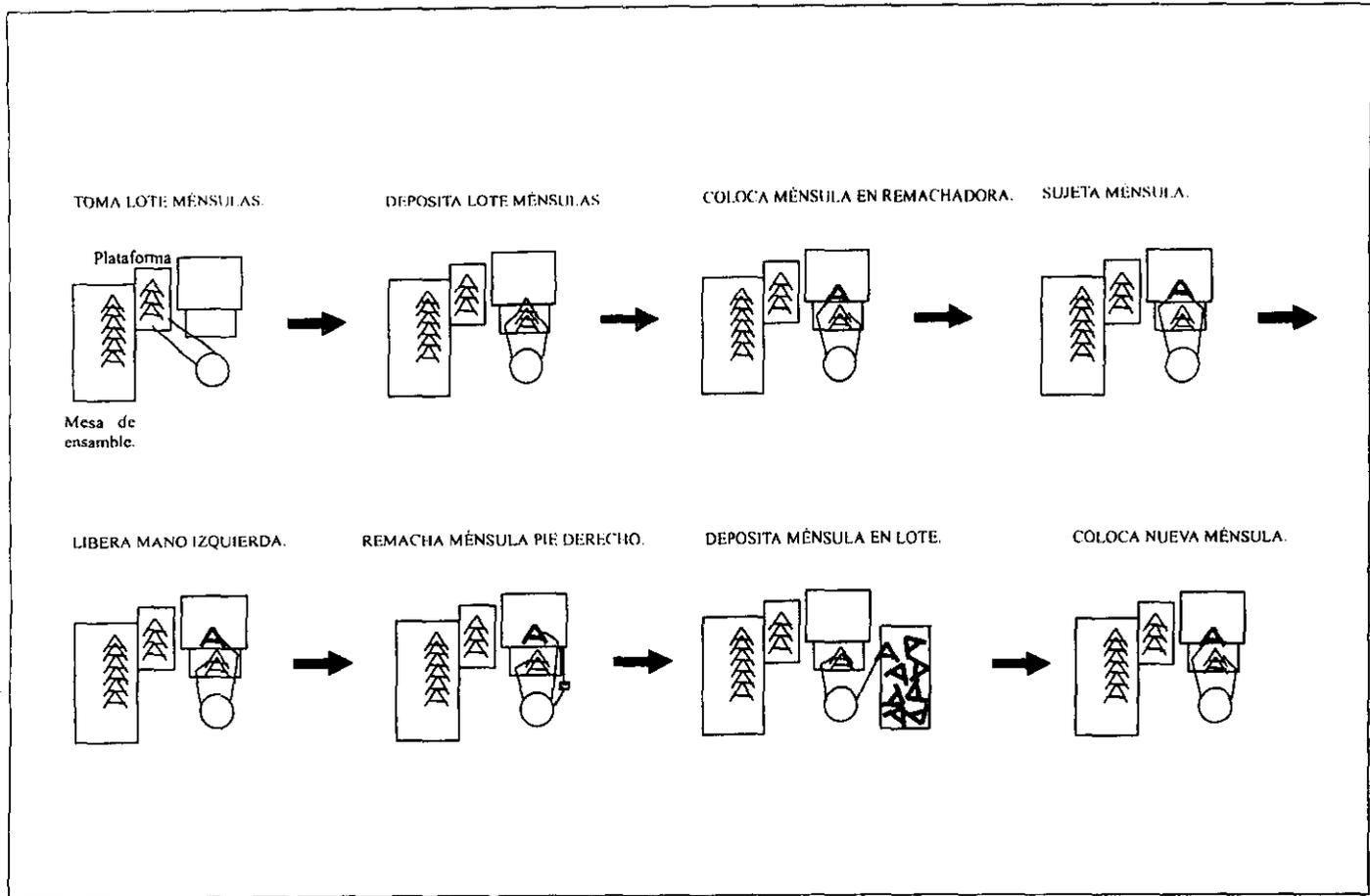


Fig. 6.2 Representación de la propuesta de remache.

#### 6.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS A LA PROPUESTA DE OPERACIONES.

La propuesta de mejora en la operación de ensamble fue simulada, fuera de las condiciones habituales de trabajo, es decir, en una mesa normal, fuera de la fábrica, y por una persona ajena al proceso, en consecuencia, sin la habilidad común en los operarios.

El ensamble se simuló en diversas ocasiones, obteniendo así un valor promedio. Se representó el ensamble de dos maneras distintas. Dicha diferencia consistió primero en la *disposición de las escuadras de manera horizontal. En la segunda, las escuadras se encontraban en posición vertical.*

El propósito de dicho cambio fue el buscar de reducir tiempo en el paso de tomar el lote de escuadras. Se supuso que la acción de tomar el lote sería realizada en menor tiempo si se disponían las escuadras en posición vertical, evitando así que los movimientos para levantar el lote de su posición horizontal fueran eliminados. Dichos resultados se muestran en la tabla 6.1.

| Posición.                       | # Piezas | t [min., seg.] |
|---------------------------------|----------|----------------|
| Piezas horizontales (acostadas) | 50       | 4' 20"         |
|                                 | 50       | 3' 22"         |
|                                 | 50       | 3' 30"         |
|                                 | 50       | 3' 45"         |
| Piezas verticales (paradas)     | 50       | 3' 45"         |
|                                 | 50       | 3' 56"         |
|                                 | 50       | 3' 32"         |

**Tabla 6.1.** Muestreo del tiempo en la propuesta de ensamble.

Como se puede observar, no existe mucha diferencia entre la disposición horizontal o vertical de las escuadras para una reducción considerable de tiempo. Por esto, podemos considerar como una buena opción, que las escuadras se encuentren en posición horizontal, reduciendo así el espacio requerido para su disposición.

Con dichos valores, se obtiene un valor promedio de ensamble.

Promedio propuesto:            50 pzas.  $\longrightarrow$  3' 45"

Tiempo propuesto por pieza:    4.5"

## 6.5. COMPARACIÓN DE VALORES ACTUALES Y LOS RESULTADOS PROPUESTOS.

Con los datos anteriores, y los valores obtenidos en los muestreos del proceso de ensamble actual, podemos comparar si existió una mejora debido a la proposición. Dichos resultados se muestran en la tabla 6.2.

| <i>CONCEPTO</i>        |           | <i>TIEMPO (seg./unidad)</i> |
|------------------------|-----------|-----------------------------|
| Ensamble actual.       | Tipo A.   | 7.25                        |
|                        | Tipo B.   | 5.77                        |
|                        | Promedio. | 6.51                        |
| Propuesta de ensamble. |           | 4.5                         |
| Tiempo economizado.    | Tipo A.   | 2.75                        |
|                        | Tipo B.   | 1.27                        |
|                        | Promedio. | 2.01                        |
| % Reducción de tiempo. | Tipo A.   | 37.9 %                      |
|                        | Tipo B.   | 22.0 %                      |
|                        | Promedio. | 30.8 %                      |

**Tabla 6.2.** Comparación de resultados entre el ensamble actual y la propuesta de ensamble.

Como es evidente, si existe una reducción de tiempo, con un valor de 1.62" por pieza o de un 26%. Por esto, se recomienda el procedimiento corregido en la operación de ensamble.

## **CAPÍTULO 7.**

### **PROPUESTA DE REDISEÑO EN EL ÁREA DE TRABAJO.**

#### **7.1. PRESENTACIÓN DEL ÁREA DE ENSAMBLE EN CONDICIONES ACTUALES.**

El ensamble de las ménsulas se realiza en una mesa rectangular de 2.48 x 1.17 metros. En dicha mesa laboran dos operarios, uno frente al otro. Se presentan dos distribuciones distintas en las mesas de ensamble.

Un tipo de distribución de la mesa de ensamble se muestra en la fig. 7.1, el otro se representa en la fig. 7.2.

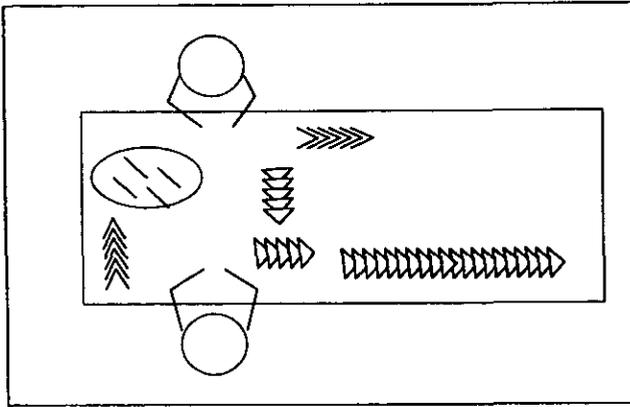


Fig. 7.1. Distribución de la mesa 1.

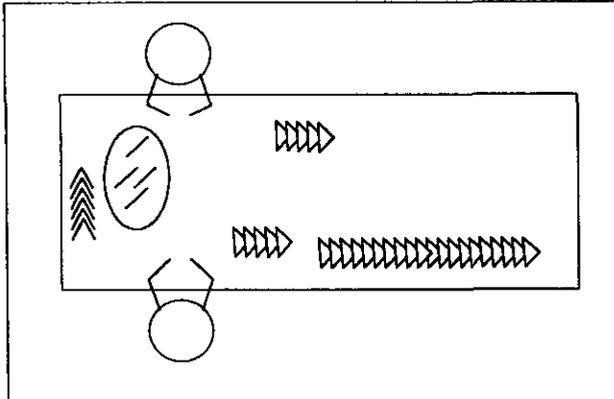


Fig. 7.2. Distribución de la mesa 2.

Como se puede observar en los diagramas, existen variaciones muy sutiles, pero en el desempeño del ensamble, se muestra una diferencia notable. Dicha diferencia se denota en las tablas de muestreo.

## 7.2. PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN EN LA MESA DE ENSAMBLE.

Basándome en la distribución de las mesas en la actualidad, buscando reducir el desplazamiento de los operador, y así economizar los movimientos, propongo la distribución que se muestra en la fig. 7.3

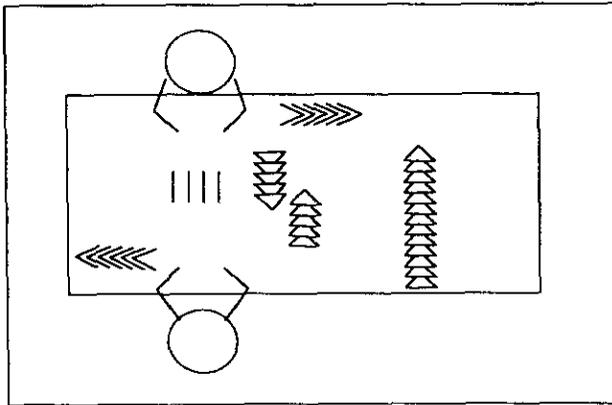


Fig. 7.3. Proposición de distribución en la mesa de ensamble.

## 7.3. PROPUESTA DE LA DISTRIBUCIÓN EN EL AREA DE REMACHE.

En la actualidad, se cuenta con una distribución del área de remache como la representada en la figura 7.4.

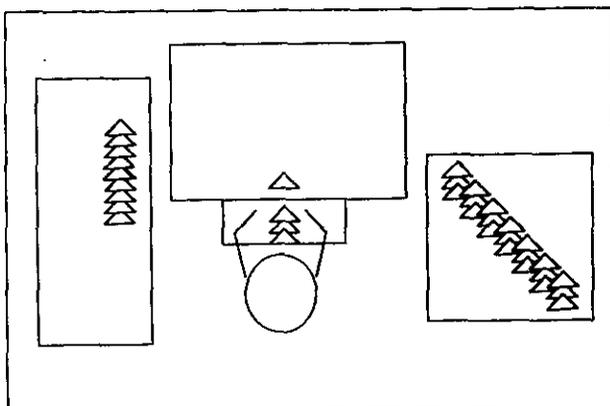


Fig. 7.4. Distribución actual en el área de remache.

Tomando en cuenta las recomendaciones hechas en el estudio de las acciones a realizar en la propuesta de remache, se considera conveniente la distribución del área de trabajo representada en la fig. 7.5.

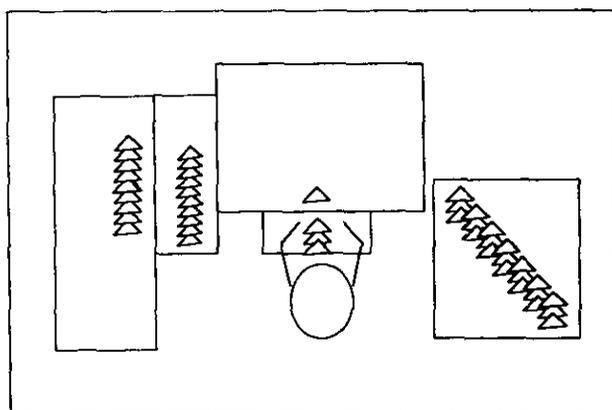


Fig. 7.5. Propuesta de distribución en el área de remache.

#### 7.4. CONSIDERACIONES HECHAS PARA LA ECONOMÍA DE MOVIMIENTOS.<sup>12</sup>

Hay varios principios en la economía de movimientos que son resultado de la experiencia y constituyen una base excelente para idear métodos mejores en el lugar de trabajo. Frank Gilbreth, fundador del estudio de movimientos, fue el primero en utilizarlos, y posteriormente fueron ampliados por otros especialistas.

Se pueden clasificar en tres grupos:

- A. Utilización del cuerpo humano.
- B. Distribución del lugar de trabajo.
- C. *Modelo de las máquinas y herramientas.*

Sirven por igual en talleres y oficinas, y, aunque no siempre es posible aplicarlos, constituyen una base excelente para mejorar la eficacia y reducir la fatiga del trabajo manual. A continuación se detallan en forma un tanto simplificada.

##### 7.4.1. UTILIZACIÓN DEL CUERPO HUMANO.

Siempre que sea posible:

1. Las dos manos deben comenzar y completar sus movimientos a la vez.
2. Nunca deben estar inactivas las dos manos la vez, excepto durante los periodos de descanso.

---

<sup>12</sup> Cfr. Oficina Internacional del trabajo, *Introducción al estudio del trabajo*, Editorial Limusa, México, Novena edición, 1995, pp. 158-161.

3. Los movimientos de los brazos deben realizarse simultáneamente y en direcciones opuestas y simétricas.
4. Debe aprovecharse el impulso cuando favorece al obrero, pero debe reducirse a un mínimo si hay que contrarrestarlo con un esfuerzo muscular.
5. Son preferibles los movimientos continuos y curvos a los movimientos rectos en los que hay cambios de dirección repentinos y bruscos.
6. Los movimientos de oscilación libre son más rápidos, más fáciles y más exactos que los restringidos o controlados.
7. El ritmo es esencial para la ejecución suave y automática de las operaciones repetitivas, y el trabajo debe disponerse de modo que se pueda hacer con un ritmo fácil y natural, siempre que sea posible.
8. El trabajo debe disponerse de modo que los ojos se muevan dentro de los límites cómodos y no sea necesario cambiar de foco a menudo.

#### 7.4.2. DISTRIBUCIÓN DEL LUGAR DE TRABAJO.

1. Debe haber un sitio definido y fijo para todas las herramientas y materiales, con objeto de que se adquieran hábitos.
2. Las herramientas y materiales deben colocarse de antemano donde se necesitarán, para no tener que buscarlos.
3. Las herramientas, materiales y mandos deben situarse dentro del área máxima de trabajo y tan cerca del trabajador como sea posible. Ver fig. 7.6.

4. Deben preverse medios para que la luz sea buena, y facilitarse al obrero una silla del tipo y altura adecuados para que se sienta en buena postura. La altura de la superficie de trabajo y la del asiento deberán combinarse de forma que permitan al operario trabajar alternativamente sentado o de pie.
5. El color de la superficie de trabajo deberá contrastar con el de la tarea que realiza, para reducir así la fatiga de la vista.
6. Las herramientas manuales, o en este caso, las piezas a ensamblar, deben recogerse alterando al mínimo el ritmo y simetría de los movimientos. En lo posible, el operario deberá recoger o depositar la herramienta conforme la mano pasa de una fase del trabajo a la siguiente, sin hacer un recorrido especial. Los movimientos naturales son curvos y no rectos: las herramientas deben colocarse en el arco del movimiento, pero no en el camino de algún material que sea preciso deslizar por el banco de trabajo.

#### 7.4.3. MODELO DE LAS MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS.

1. Debe evitarse que las manos estén ocupadas «sosteniendo» la pieza cuando ésta pueda sujetarse con una plantilla, brazo o dispositivo accionado por el pie.
2. Siempre que sea posible deben combinarse dos o más herramientas.
3. Los mangos de las herramientas deben diseñarse para que la mayor cantidad posible de superficie esté en contacto con la mano. Es algo de especial importancia cuando hay que ejercer mucha fuerza sobre el mango.
4. Las palancas, barras cruzadas y volantes de mano deben situarse en posiciones que permitan al operario manipularlos con un mínimo de cambio de posición del cuerpo y un máximo de «ventajas mecánicas».

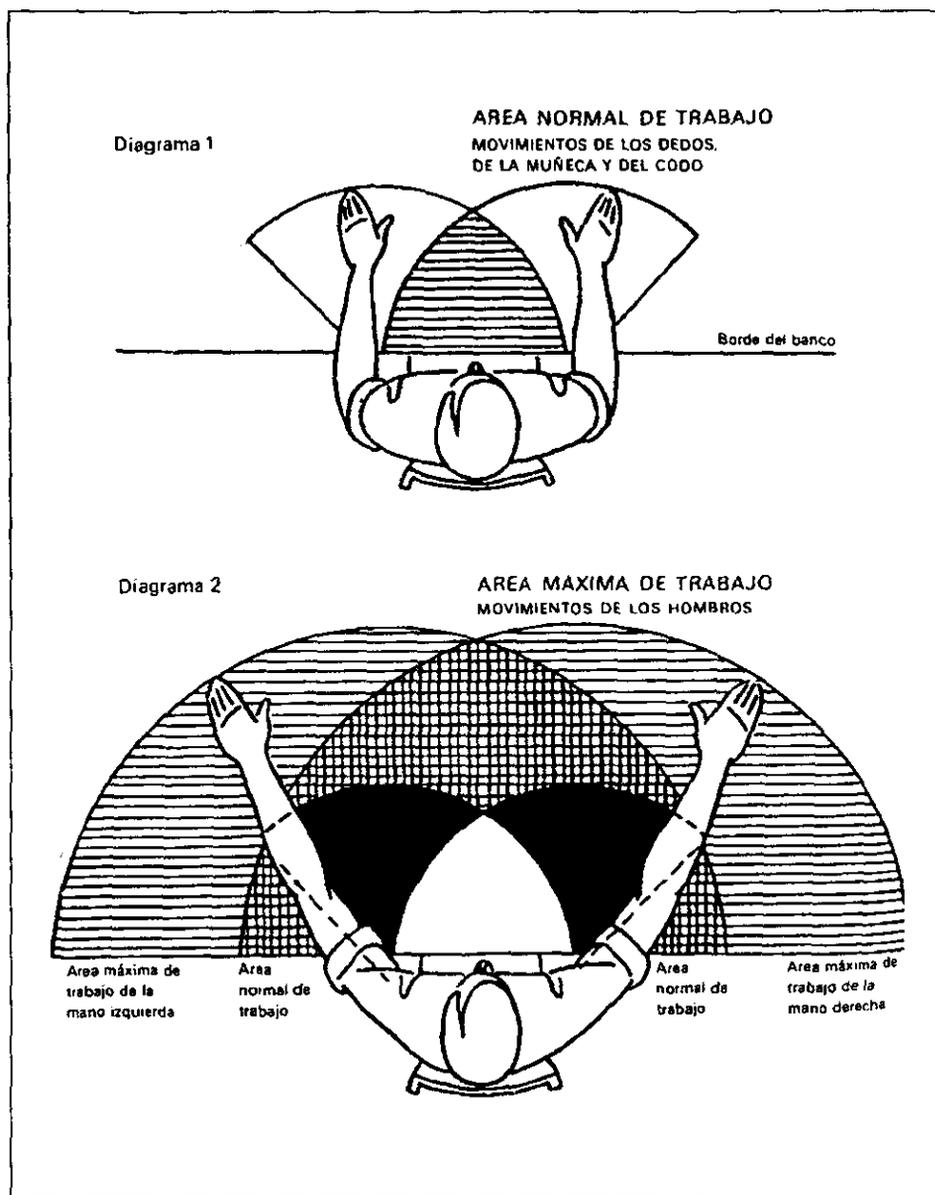


Fig. 7.6. Área normal y área máxima de trabajo.

## OBSERVACIONES GENERALES

### 8.1. PANORAMA ACTUAL.

-Como se observó en el Capítulo 1, la importancia de la tecnología de grupos es vital en aquellos procesos que involucren el manejo de diversos elementos o piezas con características similares, ya sea por su diseño o proceso de conformado.

-El empleo de esta técnica se ha hecho vital, debido a que se requiere una efectiva recuperación de datos o información del diseño, una estandarización y simplificación del proceso, buscando un diseño óptimo para una manufactura más económica, reduciendo o eliminando así los elementos o actividades innecesarias en el conformado de dichos elementos.

-La situación actual que presenta la planta está constituida por ciertas restricciones y condiciones que dictaminan el buscar una rápida solución al problema en la producción de las ménsulas. Se ha incrementado notablemente la cantidad de competencia en el mercado

de dicho producto. Esto ha repercutido en el sentido de que la competencia se ha establecido en locales pequeños, donde no pagan una cantidad alta de luz, predial, impuestos, etc., aunado al hecho de que emplean retacería en lugar de rollos de lámina como se hace en la empresa de estudio. Todo esto conjuntado con la poca gente que emplean, permite que la competencia vaya ganado mercado, restringiendo las ventas de esta empresa, ya que el costo por operación que se presenta es mucho mayor que el de los competidores.

-Se ha considerado en dejar de producir estas piezas, ya que al contraerse las ventas para esta empresa, no es redituable el producir elementos que carecerán de vida en el mercado.

-Todo ha generado la necesidad de buscar reducir el costo de operación, por lo que se busca hacer más eficiente el proceso. Se busca eliminar los tiempos muertos, el exceso de inventario, balancear la línea y emplear al personal de manera más adecuada.

-La situación que presenta esta producción, restringe un poco el empleo de herramientas tan avanzadas como la manufactura flexible. Para poder hacerlo, es necesario resolver ciertos problemas en el proceso, para preparar el sistema y crear una base para en un futuro, emplear las herramientas de la tecnología de grupos.

-Una primera restricción para el empleo de esta herramienta, es el hecho de que no se ha estandarizado el proceso de manufactura de las ménsulas. Esto es en el sentido de que no existen por ejemplo planos que muestren las piezas o sus elementos de manera completa o fidedigna. Esto es, el plano donde se esquematizan las escuadras está incompleto.

Mientras que ni siquiera existe un plan de las reglas, el otro elemento que constituye las ménsulas. No existen planos de las matrices para el conformado de dichos elementos en las troqueladoras, además de que no hay una estandarización en la colocación de dichas matrices en los troqueles, tanto en la preparación como en el tiempo que se emplea. Dando como resultado diversas fluctuaciones en el tiempo de preparación para el troquelado de las piezas.

-Es necesario resolver dichos problemas para permitir en un futuro la implantación exitosa de las técnicas de la manufactura por tecnología de grupos. Sin olvidar que existe un problema aún mayor que necesita resolverse. Dicho problema, es aquella operación en donde se genera el cuello de botella.

## 8.2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA EN EL PROCESO.

-Como se describió en el Capítulo 2, se pueden enumerar 12 etapas en la producción de las ménsulas. Retomando, se enumeran a continuación:

1. Recepción y almacenamiento de la materia prima.
2. Troquelado de reglas y escuadras.
3. Almacenamiento de las partes troqueladas.
4. Ensamble de las partes troqueladas.
5. Almacenamiento de las partes troqueladas.
6. Remache de las ménsulas.
7. Almacenamiento de las ménsulas.
8. Pintado de las ménsulas.

9. Reposo y almacenamiento de las ménsulas.
10. Empaque de las ménsulas.
11. Almacenamiento final.
12. Distribución.

-En base a muestreos de las operaciones más representativas en el proceso se determinaron el tiempo promedio que se necesita en cada fase para realizar las labores que se requieren. Dichos tiempos se presentan en la tabla 8.1.

| <i>ACTIVIDAD</i>         | <i>TIEMPO<br/>(seg./unidad)</i> |
|--------------------------|---------------------------------|
| Troquelado de escuadras. | 1.22                            |
| Troquelado de reglas.    | 0.96                            |
| Ensamble.                | 6.51                            |
| Remache.                 | 2.48                            |

**Tabla 8.1.** Tiempos promedios en las fases del proceso de producción de ménsulas.

-De esta forma determinamos que si deseamos balancear la producción, es necesario reducir tiempos en las operaciones donde se efectúen actividades manuales. Además de que de una manera visual, se comprueba que existe un exceso de inventario antes de la operación de ensamble. Considerando entonces la operación que más tiempo nos genera con el exceso de inventario, determinamos que el cuello de botella es precisamente la operación de ensamble.

-Es en este punto donde todo nuestro estudio se basó, buscando reducir estos tiempos analizamos cada movimiento, enfocándonos en aquellas operaciones que no constituían más que un exceso de labor, movimientos que en lugar de proporcionar un beneficio al producto en base a un ensamble más cómodo y eficiente, consumían tiempo y fatigaban al operario.

-Un hecho importante, es la restricción que se presenta por parte de la compañía para realizar algún gasto, ya sea de personal o para equipo. Esto con la justificación de que las ménsulas no se están vendiendo adecuadamente. Y como se mencionó antes, se ha considerado en dejar de producir dichos elementos.

-Esta restricción repercute en el hecho de que no podemos automatizar el proceso, ya que requeriría de grandes inversiones en equipo e instalación. En cuanto a mecanizar, una restricción es que en el área disponible para manufacturar las ménsulas, se complica el colocar mecanismos.

-Un factor muy importante, es que las ménsulas no están producidas de manera adecuada. Se presentan variaciones en cuanto a la localización de los barrenos y pestañas al colocarlos de manera apilada. Dicha variación es debido a que la lámina presenta una curvatura (camber) proveniente desde la fábrica de materia prima. Esto origina que se dificulte el empleo de alimentadores mecánicos o automáticos.

-Considerando estos factores, aunado al hecho de que no disponemos de recursos financieros para mejorar el sistema debemos seguir con la manufactura manual, hasta recuperar un poco de mercado, incrementar nuestras ventas e ingresos y de esta manera,

atestiguar que es conveniente seguir en la producción de ménsulas y en un futuro invertir en equipo, hasta lograr una automatización.

### 8.3. ANÁLISIS DE LAS OPERACIONES PRESENTES DE ENSAMBLE.

-Como se observó en el Capítulo 5, se presentan primordialmente 2 tipos de ensambles que se realizan. El ensamble A es el que más tiempo emplea, debido a que se dobla una sola escuadra a la vez. Mientras que el ensamble tipo B toma de 6 a 7 escuadras para doblarlas y así reduce movimientos de desplazamiento y el tiempo de ejecución de la tarea. Se presenta esquemáticamente el ensamble tipo A en la figura 5.3 de la página 68 y el ensamble B en la figura 5.4 de la página 75.

-En ambos tipos de ensamble, se presenta la deficiencia del inventario acumulado frente a este cuello de botella, aunado a que el operario de ensamble debe recoger del piso las partes a ensamblar y de manera desordenada y aleatoria colocarlas en la mesa para su ensamble. Esto provoca que el operario se fatigue al agacharse y recoger piezas varias veces al día.

-Otra deficiencia en estas operaciones está en la disposición de las piezas en la mesa de trabajo. Con lo que se originan movimientos innecesarios y excesivos.

#### 8.4. ANÁLISIS DE LAS OPERACIONES PRESENTES DE REMACHE.

-En cuanto a la operación de remache, se descubrieron movimientos innecesarios y contraproducentes. Esto se refiere a que el operario debía reunir las piezas ensambladas, formar un pequeño lote de las mismas, recogerlo y colocarlo en una plataforma de donde dispondría cada ménsula para remacharla.

-Para dicha operación, el operario debía girar su cuerpo casi 90°, agacharse y estirarse para tomar el lote de ménsulas. Por todo esto, el operario tenía una baja eficiencia, además de que se fatigaba después de varias horas de remachar las piezas.

-El tiempo requerido para esta operación de remache se presenta en la tabla 8.2.

| <i>OPERACIÓN</i> | <i>TIEMPO (seg./unidad)</i> |
|------------------|-----------------------------|
| Remache.         | 2.48                        |

**Tabla 8.2.** Tiempo promedio para el remachado.

Se presenta un esquema donde se muestran las actividades en la operación de remache en la figura 5.5 de la página 81.

## 8.5. PROPUESTA DE SOLUCIÓN EN LA OPERACIÓN DE ENSAMBLE.

-Como se mencionó en el Capítulo 6, se proponen actividades específicas para el ensamble de las piezas constitutivas de las ménsulas. Además de ciertas consideraciones que deberán hacerse para el logro eficaz de estas labores en un tiempo óptimo. Del mismo modo, se presenta un esquema donde se muestran las actividades en la operación de ensamble en la figura 6.1 de la página 87.

-Dichas recomendaciones, se basaron en el análisis y depuración de los dos tipos de ensamble existentes. En donde se buscó simplificar las labores y desplazamientos de los operarios, así como eliminar el exceso de los mismos.

-Se recomienda que la persona que se encarga de supervisar el troquelado de las reglas y escuadras, sea la misma que proporcione dichas piezas a la operación de ensamble.

-En el caso de las escuadras, éstas deben estar dobladas y apiladas antes de que el operador en ensamble empiece con su labor. La escuadra debe ser doblada y colocada por el operario de los troqueles. Se debe localizar el lote de escuadras del lado izquierdo del operario de ensamble, ya que los movimientos de la mano izquierda serán menores y más simples que los de la mano derecha. No existe una gran diferencia en ahorro de tiempo en cuanto a que el operario tome la escuadra en posición horizontal o vertical del lote de las mismas.

-La mano izquierda sólo servirá para apoyar las escuadras sobre la mesa, de modo que no vaya a existir un deslizamiento de las mismas al ser desplazadas en el momento de colocar la regla en su posición.

-En cuanto a las reglas, se recomienda que éstas estén ordenadas al frente del operario apiladas; aproximadamente cada lote debe ser de 10 reglas, para evitar que dicho lote se derrumbe con algún movimiento o colisión, además de que nos permite llevar un cálculo de las ménsulas que se han ensamblado en un tiempo determinado.

-Se simuló dicha proposición de actividades, lo que nos llevó a resultados satisfactorios, ya que la reducción de tiempo fue desde una quinta parte del tiempo hasta poco más de una tercera parte.

En la tabla 8.3 se muestran los resultados obtenidos en la simulación de la propuesta de ensamble.

| <i>CONCEPTO</i>        |           | <i>TIEMPO (seg./unidad)</i> |
|------------------------|-----------|-----------------------------|
| Ensamble actual.       | Tipo A.   | 7.25                        |
|                        | Tipo B.   | 5.77                        |
|                        | Promedio. | 6.51                        |
| Propuesta de ensamble. |           | 4.5                         |
| Tiempo economizado.    | Tipo A.   | 2.75                        |
|                        | Tipo B.   | 1.27                        |
|                        | Promedio. | 2.01                        |
| % Reducción de tiempo. | Tipo A.   | 37.9 %                      |
|                        | Tipo B.   | 22.0 %                      |
|                        | Promedio. | 30.8 %                      |

**Tabla 8.3.** Comparación de resultados entre el ensamble actual y la propuesta de ensamble.

-Se puede observar que existe una economía conveniente en el empleo de la propuesta de ensamble, la reducción de tiempo nos permite realizar una operación más eficiente, con lo cual podemos reducir el tiempo de fabricación de las ménsulas, además de permitimos el balancear las distintas operaciones en la célula.

## 8.6. PROPUESTA DE SOLUCIÓN EN LA OPERACIÓN DE REMACHE.

-Debido a que en la operación de remache no se podía llevar a cabo una simulación de las actividades propuestas, el estudio en esta área se limitó únicamente a desarrollar recomendaciones en cuanto a la eliminación de desplazamientos importantes por parte del operador.

-Se propone la eliminación de los movimientos que se llevan a cabo para coleccionar el lote de ménsulas a remachar. En su lugar, se recomienda que el lote de ménsulas sea colocado frente al operario, sobre una plataforma a la altura del mismo, evitando así que se gire e incline en exceso. Se recomienda que dicho lote debe ser colocado por la persona que coloque las piezas (escuadras y reglas) en la operación de ensamble, una vez que haya dejado estas piezas en la operación anterior.

-Por esto, no se pudo realizar una simulación, no obteniendo así un valor para constatar la economía en el tiempo de remachado. Se representan dichas actividades en el esquema de la figura 6.2 de la página 91.

## 8.7. RECOMENDACIONES EN LA DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO.

-En el capítulo 7, se mostraron los dos tipos de distribución presentes en las mesas de ensamble, cada una con variaciones en la localización de las piezas a ensamblar, y de las finales. Dicha representación se muestra en las figuras 7.1 y 7.2 de la página 96.

-Analizando las condiciones existentes y las propuestas de solución en la actividad de ensamble, se propone una nueva distribución de las piezas en la mesa de trabajo, para cumplir eficazmente las condiciones requeridas para realizar las propuestas en esta operación. Dicha representación se muestra en la figura 7.3 de la página 97.

-En cuanto a la distribución en el área de trabajo en la operación de remache, se propone el implemento de una plataforma a la izquierda de la remachadora, entre la mesa de ensamble y la misma. Con el fin de facilitar al operario el tomar el lote de ménsulas a remachar.

-Las condiciones presentes en esta área, se esquematizan en la figura 7.4 de la página 98, y la recomendación se representa en la figura 7.5 de la página 98.

-Del mismo modo, en dicho capítulo se hacen algunas recomendaciones que se deben cuidar en cuanto a la utilización del cuerpo humano, la distribución en el lugar de trabajo y el modelo de herramientas y máquinas a emplear para realizar las distintas operaciones en la manufactura de las ménsulas.

## **CONCLUSIONES FINALES DEL PROYECTO DE TESIS.**

-Como se ha podido observar, es imperativo el buscar una solución al problema existente en la producción de ménsulas, debido a los altos costos operativos y a la baja eficiencia de las operaciones que se realizan.

-Buscando el mejorar dichos factores, para fortalecer a la presente compañía y mejorar las ganancias lo cual permita seguir compitiendo en el mercado, se analizaron las operaciones más representativas en la producción de las ménsulas.

-Se estudiaron las diversas actividades que se realizan en el presente para cada operación, así como las condiciones de trabajo. Esto permitió el depurar y proponer un nuevo sistema de trabajo, en el cual se eliminan o reducen los movimientos innecesarios de los operadores, así como el esfuerzo realizado por los mismos.

-Para cada operación se propuso una secuencia de actividades que permitieron mejorar el tiempo de producción, reduciendo considerablemente el tiempo total del proceso.

-Como se mencionó anteriormente, este estudio permite balancear la línea de producción, logrando así un flujo continuo en las operaciones, lo que nos permite reducir el inventario presente antes de cada operación, sobre todo en aquéllas que representan cuellos de botella.

Dicho análisis se representa en la tabla 9.1, así como el balanceo de manera esquemática en la figura 9.1.

| <i>OPERACIÓN.</i>        | <i>TIEMPO.</i>    |                  |
|--------------------------|-------------------|------------------|
|                          | <i>50 piezas.</i> | <i>Unitario.</i> |
| Troquelado de reglas.    | 48''              | 0.96''           |
| Troquelado de escuadras. | 1' 1''            | 1.22''           |
| Ensamble.                | 3' 45''           | 4.50''           |
| Remache.                 | 2' 4''            | 2.46''           |

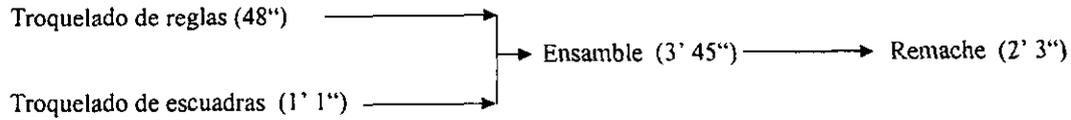
**Tabla 9.1.** Muestreo de tiempos en las fases de la propuesta de ensamble.

-Como se acaba de mostrar, podemos balancear la línea, logrando así una óptima producción a un ritmo óptimo.

-De esta manera se concluye este estudio de tesis, en el cual se desarrolla un sistema que proporciona un método eficaz de producción en una célula de manufactura de ménsulas.

-Se recomienda no pasar por alto las condiciones necesarias para el buen desempeño y ejecución de las actividades propuestas.

**Proceso puro (50 piezas)**



**Proceso balanceado (50 piezas)**

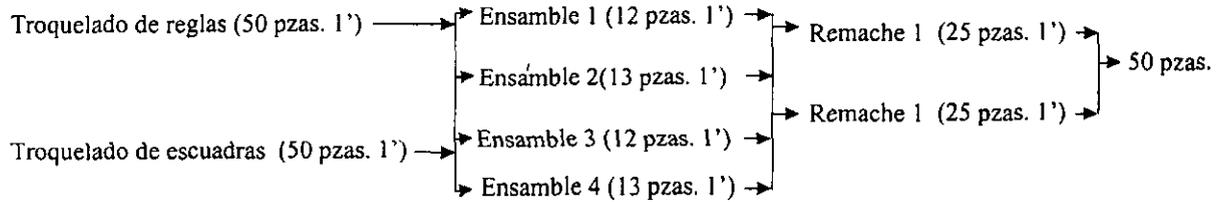


Fig. 9.1 Esquema del balanceo de línea.

## ÍNDICE ESQUEMÁTICO.

|  |    |
|--|----|
| 1. Sistema monocódigo de clasificación.  | 7  |
| 2. Sistema policódigo de clasificación.  | 8  |
| 3. Matriz pieza-máquina.   | 15 |
| 4. Agrupación arbitraria.  | 16 |
| 5. Distribución reorganizada.  | 17 |
| 6. Arreglo perfecto.   | 18 |
| 7. Relaciones entre el volumen y la variedad de producción con diferentes sistemas de manufactura. | 21 |
| 8. Arreglo de posición fija.   | 22 |
| 9. Arreglo por producto.   | 23 |
| 10. Arreglo por proceso.   | 25 |
| 11. Arreglos GT.   | 28 |
| 12. Esquema de las ménsulas.   | 34 |
| 13. Distribución de las máquinas en la célula a rediseñar.   | 35 |
| 14. Muestreo del tiempo de troquelado de escuadras.  | 41 |
| 15. Muestreo del tiempo de troquelado de reglas.   | 42 |
| 16. Muestreo del tiempo de ensamble.   | 43 |
| 17. Promedios de tiempo de ensamble.   | 44 |
| 18. Muestreo del tiempo de remachado.  | 45 |
| 19. Factores de evaluación.  | 54 |
| 20. Evaluación de los métodos de ensamble.   | 55 |

|  |         |
|--|---------|
| 21. Símbolos para la identificación de los elementos en las operaciones.           | 59      |
| 22. Simbología de representación en las operaciones.                               | 61      |
| 23. Representación de la operación de ensamble tipo A.                             | 68      |
| 24. Representación de la operación de ensamble tipo B.                             | 75      |
| 25. Representación de la operación de remache.                                     | 81      |
| 26. Representación de la propuesta de ensamble.                                    | 87      |
| 27. Representación de la propuesta de remache.                                     | 91      |
| 28. Muestreo del tiempo en la propuesta de ensamble.                               | 93      |
| 29. Comparación de resultados entre el ensamble actual y la propuesta de ensamble. | 94, 112 |
| 30. Distribución de la mesa 1.   | 96      |
| 31. Distribución de la mesa 2.   | 96      |
| 32. Proposición de distribución en la mesa de ensamble.                            | 97      |
| 33. Distribución actual en el área de remache.                                     | 98      |
| 34. Propuesta de distribución en el área de remache.                               | 98      |
| 35. Área normal y área máxima de trabajo.  | 102     |
| 36. Tiempos promedios en las fases del proceso de producción de ménsulas.          | 106     |
| 37. Tiempo promedio para el remachado.   | 109     |
| 38. Muestreo de tiempos en las fases de la propuesta de ensamble.                  | 116     |
| 39. Esquema del balance de línea.  | 117     |

**BIBLIOGRAFÍA.**

- Ham Inyong, Hitomi Katsundo, **Group Technology. Applications to production management.**, Kluwer-Nijhoff Publishing, U.S.A., 1985, pp. 1-19.
- Singh Nanua, Rajamani Divakar, **Cellular Manufacturing Systems. Design, planning and control.**, Chapman & Hall, Inglaterra, Primera edición, 1996, pp. 9, 15-19, 34-38, 181-189.
- Boothroyd Geoffrey, Poli Corrado, **Automatic Assembly.**, Marcel Dekker Inc., NY, Usa, 1982.
- Oficina Internacional del trabajo, **Introducción al estudio del trabajo.**, Editorial Limusa, México. Novena edición, 1995, pp. 158-161.