



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL**

**“DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA  
ESTACIÓN DE ENSAMBLE”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**P R E S E N T A N:**

**EMILIA GÓMEZ PERDOMO**

**MIREYA PÉREZ GÓMEZ**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERO MECÁNICO**

**P R E S E N T A:**

**OSVALDO RUIZ CERVANTES**



**DIRECTOR: DR. SAÚL DANIEL SANTILLÁN  
GUTIERREZ**

**CODIRECTOR: M.I. ROBERTO PEÑA BANDALA**

**MÉXICO, D. F. 2005**



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.

## **Agradecimientos**

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por el sólo hecho de pertenecer a ella con orgullo y admiración. A la Facultad de Ingeniería por toda mi formación tanto académica como humana.

Al Dr. Saúl D. Santillán por ser el guía de este trabajo; por compartir sus conocimientos y sus experiencias con nosotros; por sus consejos, su paciencia y apoyo a lo largo de todo este proceso.

A todos los sinodales por el tiempo dedicado a leer este trabajo y por sus observaciones. Al M.I Víctor Vázquez por las recomendaciones y opiniones que me ayudaron a realizar parte de este proyecto y por su amistad.

A mis padres, mis hermanos y mis tías les agradezco todo el apoyo que siempre me han brindado, su amor incondicional y su infinita paciencia. A Vicente y Gladys porque mis alegrías, tristezas, éxitos y fracasos también son los de ustedes, les dedico no sólo este trabajo sino todas las aventuras que he emprendido y todas las que vendrán. A Jesús y Gladys por ser mis confidentes y compañeros de juegos, risas y de lágrimas también. A Mercedes, Irma y Eva por los ánimos que me han dado para continuar mi camino.

A Fernando por su amistad, sus consejos y por los regaños que necesité para salir adelante y terminar este proyecto. A Roberto por su colaboración y experiencia para realizar este trabajo y su amistad.

A todos mis grandes amigos que me han dado su amistad incondicional y me han acompañado tanto en los buenos como en los malos momentos, en especial a Sergio, Edgar, Iván F., Alejandro, Carlos, Eduardo y Hanna.

Muchas Gracias Iván V. por tu ayuda y tus orientaciones para terminar este proyecto.

A mis profesores, compañeros, compañeros de tesis y amigos que directa o indirectamente me alentaron a llegar hasta aquí.

***Emilia Gómez Perdomo***

## **Agradecimientos**

Gracias Lucy y Hermi por su amor, comprensión y su apoyo incondicional, gracias por ser los mejores padres porque a pesar de la distancia siempre han estado a mi lado, siendo mi ejemplo de vida.

Gracias Osvaldo por compartir tu vida conmigo, por tu amor y paciencia. Gracias por ser mi motivación y apoyo.

A mis hermanos Fidel, Isabel, Luis, Pablo, Male, Ana y Vero. Gracias por su cariño, sus preocupaciones, sus consejos y sobre todo por el apoyo que siempre he tenido de ustedes.

Gracias a mis sobrinos: Sandy, Johany, Atzín, Yecty, Dany, Christian, Fernando, Alexis, David, Isaac, Bryan, Mary Fer, Alan, Abel y Donovan, por su alegría y cariño.

Gracias a Margarita y Genaro por su cariño y apoyo.

Gracias a Bety, Isidro, Gilberto, Julio y Angel por su amistad y cariño

***Mireya Pérez Gómez***

*Tal como lo prometí, dedico este trabajo a mi hermanito Omar por su admiración sincera y porque su recuerdo de niño valiente e impulsivo siempre será un aliciente en los momentos importantes como este.....*

## **Agradezco:**

A mi mamá Margarita y a mi papá Genaro por darme la oportunidad de seguir mis deseos siempre y no perder la fe en mí.

A Oscar por ser mi hermano, mi mejor amigo y compañero en todas las aventuras que he realizado.... y las que nos faltan.

A Mireya por su paciencia, compañía y por ser lo más importante de mi vida.

A mis amigos: Noé, Edgar, Salvador, Gerardo, Jorge, William, Julio, Ana Lilia, Angie y Alina, mis compañeros de la escuela y amigos para el resto de la vida.

Al Dr. Saúl Santillán por el tiempo que nos dedicó durante el desarrollo de este proyecto y al Ing. Roberto Peña por su paciencia

A toda mi familia.

**Oswaldo Ruiz Cervantes**

# CONTENIDO

	Pág
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>Capítulo 1 ANTECEDENTES</b> .....	<b>3</b>
<b>La Industria Manufacturera en México</b> .....	<b>3</b>
Evolución Reciente del Sector Maquilador.....	3
<b>Presión de la Industria Manufacturera China</b> .....	<b>6</b>
El Costo de la Mano de Obra.....	8
<b>Inversión Alemana en México</b> .....	<b>9</b>
<b>Caso Particular</b> .....	<b>10</b>
<b>Problemática de la Empresa con el Cepillo Eléctrico</b> .....	<b>10</b>
Los deseos de la empresa.....	13
<b>Objetivos</b> .....	<b>14</b>
<b>Capítulo 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	<b>15</b>
<b>Estudio de tiempos y movimientos</b> .....	<b>15</b>
Antecedentes.....	15
Estudio de Tiempos.....	15
Método de estudio de tiempos.....	15
Estudio de movimientos.....	16
Principios de la economía de movimientos.....	18
<b>Diseño para manufactura y ensamble (DFMA)</b> .....	<b>18</b>
Antecedentes.....	18
¿Qué es DFMA?.....	20
Objetivo.....	20
Principios.....	20
Eficiencia de Ensamble.....	22
Ventajas.....	28
Sistema de Clasificación para Manipulación.....	28
Efecto de la simetría de las piezas en el tiempo de manipulación.....	29
<b>Análisis económico de proyectos</b> .....	<b>30</b>
Definición de análisis económico de proyectos.....	30
Determinación del flujo de efectivo.....	32
Criterios de decisión.....	34
Planteamiento de alternativas.....	34
Criterios económicos de decisión.....	36
Pay-Back.....	38
<b>Capítulo 3 APLICACIÓN PRÁCTICA</b> .....	<b>40</b>
<b>Tiempos y movimientos</b> .....	<b>40</b>
Procedimiento.....	41
Áreas de oportunidad.....	45

<b>Análisis de Boothroyd</b> .....	<b>45</b>
Procedimiento.....	46
Ensamble actual.....	49
Áreas de oportunidad.....	49
<b>Costos</b> .....	<b>51</b>
Análisis de resultados.....	54
Áreas de oportunidad.....	54
<b>Capítulo 4 DISEÑO CONCEPTUAL</b> .....	<b>56</b>
<b>Métodos de diseño</b> .....	<b>56</b>
Métodos creativos.....	56
Métodos con marco de referencia lógico.....	57
<b>Clarificación de objetivos</b> .....	<b>61</b>
Árbol de objetivos.....	62
<b>Establecimiento de funciones</b> .....	<b>66</b>
Análisis de Funciones.....	66
<b>Fijación de requerimientos</b> .....	<b>72</b>
Especificación del rendimiento.....	76
<b>Determinación de características</b> .....	<b>82</b>
Despliegue de la función de calidad.....	83
<b>Carta morfológica</b> .....	<b>86</b>
El método de la carta morfológica.....	88
<b>Capítulo 5 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS</b> .....	<b>97</b>
<b>Evaluación técnica</b> .....	<b>97</b>
El método de objetivos ponderados.....	98
<b>Evaluación Económica</b> .....	<b>110</b>
Tiempo total de ensamble incluyendo estación de engrasado.....	120
<b>Resultados</b> .....	<b>121</b>
<b>Diseño propuesto</b> .....	<b>124</b>
Funcionamiento.....	124
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>107</b>
<b>Anexo 1 METODOLOGÍA BOOTHROYD</b> .....	<b>108</b>
Sistema de Clasificación para Manipulación.....	108
Sistema de Clasificación para inserción Manual y Sujeción.....	109
<b>Anexo 2 ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS</b> .....	<b>112</b>
Ensamble de terminales.....	112
Ensamble con soldadura.....	113
Engrasado.....	114
Ensamble de interruptor.....	115
Ensamble del sello de goma y la flecha.....	116
Ensamble de batería, aro de goma y carcasa.....	117

Ensamble de cabeza y protector.....	118
Pruebas.....	119
<b>Anexo 3 ESCENARIOS DEL ANÁLISIS DE BOOTHROYD_____</b>	<b>120</b>
Escenario 1: Ensamble sin soldadura.....	120
Escenario 2: Ensamble sin grasa.....	121
Escenario 3: Ensamble sin soldadura y sin grasa.....	122
<b>Anexo 4 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS_____</b>	<b>123</b>
<b>Fuentes de información_____</b>	<b>124</b>
Bibliográficas.....	124
Páginas electrónicas.....	125



## **INTRODUCCIÓN**

Para lograr una elevada producción dentro de una empresa manufacturera o maquiladora, es necesario reducir los tiempos de proceso sin que esto afecte la calidad del producto final.

Dicha reducción de tiempo se puede lograr de diversas formas, ya sea detectando cuellos de botella o suprimiendo los tiempos muertos que puedan tenerse a lo largo del proceso. Como consecuencia de esta reducción de tiempos se logra una reducción en los costos, mejorando de manera considerable los niveles de producción.

Este trabajo se desarrolló con la finalidad de diseñar una estación de engrasado, que se incluirá en el proceso de ensamble de cepillos eléctricos. De esta forma se pretende incrementar la eficiencia del proceso, logrando así aumentar la producción anual.

En el **capítulo 1** presentamos un panorama general de la industria manufacturera en nuestro país, resaltando la forma en que el crecimiento de la industria China está afectando a este sector. Al final del capítulo, se describen los problemas que tiene la empresa para producir cepillos eléctricos y la forma en que desean el diseño de la estación de engrasado.

Para llegar a la etapa del diseño fue necesario analizar los problemas mediante los métodos de Estudio de tiempos y movimientos, Diseño para manufactura y ensamble y el Análisis económico de proyectos, los cuales son descritos en el **capítulo 2**.

Las áreas de oportunidad fueron obtenidas a partir de la aplicación de los métodos anteriores, generando formatos y resultados que aparecen en el **capítulo 3**.

Una de las partes más importantes de este proyecto es el diseño conceptual, desarrollado en el **capítulo 4**, de donde surgen las especificaciones a partir de los requerimientos y necesidades del cliente. Estas especificaciones nos ayudaron a obtener un grupo de alternativas que pueden dar solución al problema.

Las alternativas se estudiaron y analizaron en el **capítulo 5**. Mediante una evaluación técnica y económica obtuvimos la información necesaria que nos sirvió para elegir la mejor opción.

La memoria de cálculo, los planos finales y sus especificaciones se incluyen en el **capítulo 6** como parte de nuestra propuesta de diseño de detalle.

Para finalizar este trabajo se presentan de forma detallada los resultados y conclusiones de este proyecto.



## Capítulo 1 ANTECEDENTES

### *La Industria Manufacturera en México*

La industria maquiladora de exportación en México se ha consolidado como la actividad económica de mayor crecimiento durante la última década. El ritmo elevado y sostenido de su expansión se refleja en el auge de varios indicadores. Por una parte, la producción bruta llegó a registrar tasas de crecimiento superiores a 28.2% en algunos años, permitiendo con ello que su participación en el valor total de las exportaciones pasara de 26.1 a 47.6% de 1986 a 2000. En términos nominales dicho comportamiento implicó un incremento de 73,821 millones de dólares en el valor de las exportaciones. Por otra parte, en esos años el número de personas ocupadas en el sector aumentó de 268,000 a 1.3 millones, convirtiéndose así en la actividad económica que con mayor velocidad generaba empleo. Asimismo, la expansión trajo consigo la apertura de una gran cantidad de establecimientos dedicados a la maquila de exportación. En particular, al cierre del 2000 había un total de 3,703 empresas en el sector, cifra 79.4% superior a la registrada en 1994.

Sin embargo, desde finales del 2000 la desaceleración de la economía estadounidense y después su recesión, perturbaron profundamente el dinamismo del sector. Las empresas se enfrentaron a la contracción de la demanda externa haciendo reducciones importantes en su volumen de producción, que llegaron a 18.9% anual en marzo del 2002. Simultáneamente se llevaron a cabo ajustes en los niveles de empleo que derivaron en la pérdida de más de 278,000 empleos de octubre de 2000 a febrero de 2002, con lo que el sector maquilador de exportación registro la tasa de despido de trabajadores más alta de la economía.

A pesar de los ajustes en la producción y el empleo, muchos establecimientos juzgaron inviable continuar con su actividad y decidieron finiquitar sus operaciones. De junio del 2001 a marzo del 2002 el número de establecimientos que cerró operaciones ascendió a 533, lo que representa 14.4% del total de empresas que existía a finales de 2000.

Si bien la contracción de la demanda externa ha sido la principal razón de los ajustes mencionados, debe reconocerse que el encarecimiento en dólares de la mano de obra y de los servicios, así como el cambio de régimen fiscal al que deben hacer frente las empresas maquiladoras, son factores adicionales que han debilitado el dinamismo y la competitividad del sector.

### **Evolución Reciente del Sector Maquilador**

Durante la década de los noventa la producción bruta de la industria maquiladora registró un crecimiento real de 18.2% anual en promedio. Esta cifra implicó un mayor ritmo de crecimiento en el consumo de bienes intermedios que en la generación de valor agregado. En particular, el de los primeros (que en su mayoría son importados) se elevó a una tasa anual promedio de 19.6% mientras

que el valor agregado lo hizo al 10.4%. Esta disparidad, como se observa en la *figura 1.1*, ocasionó que la participación de este último en la producción bruta se redujera de 19.7 a 10.7% de 1990 a 1999.

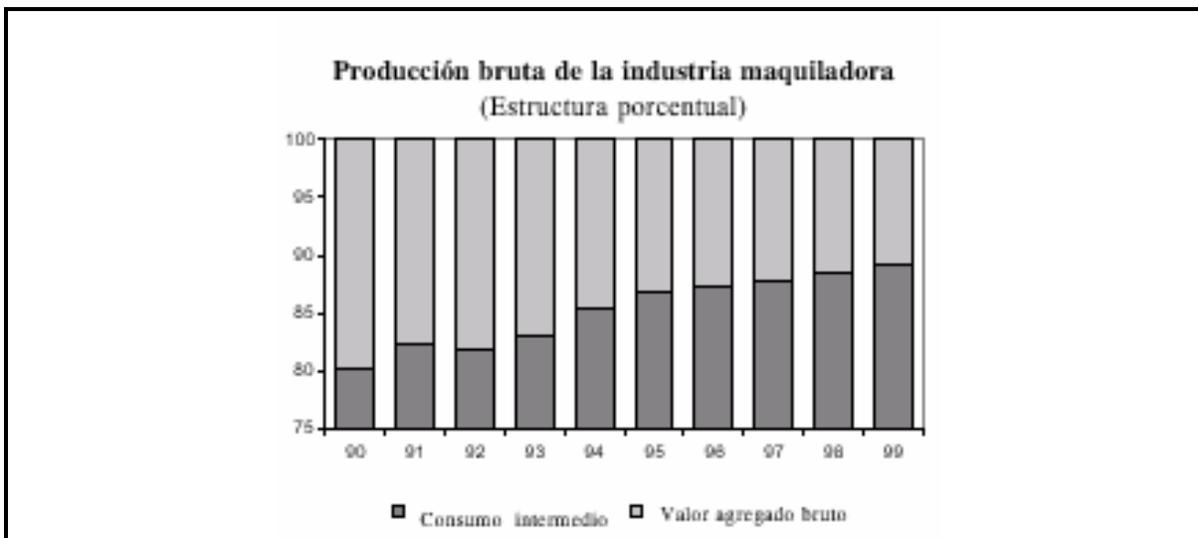


Figura 1.1  
Producción Bruta de la Industria Maquiladora.  
Fuente INEGI, año 2002.

Sin embargo, el auge del sector maquilador (*figura 1.2*) trajo consigo la contratación de un número muy importante de trabajadores, cumpliéndose de esa manera uno de los objetivos establecidos en el Decreto para el Fomento y Operación de la Industria Maquiladora de Exportación.

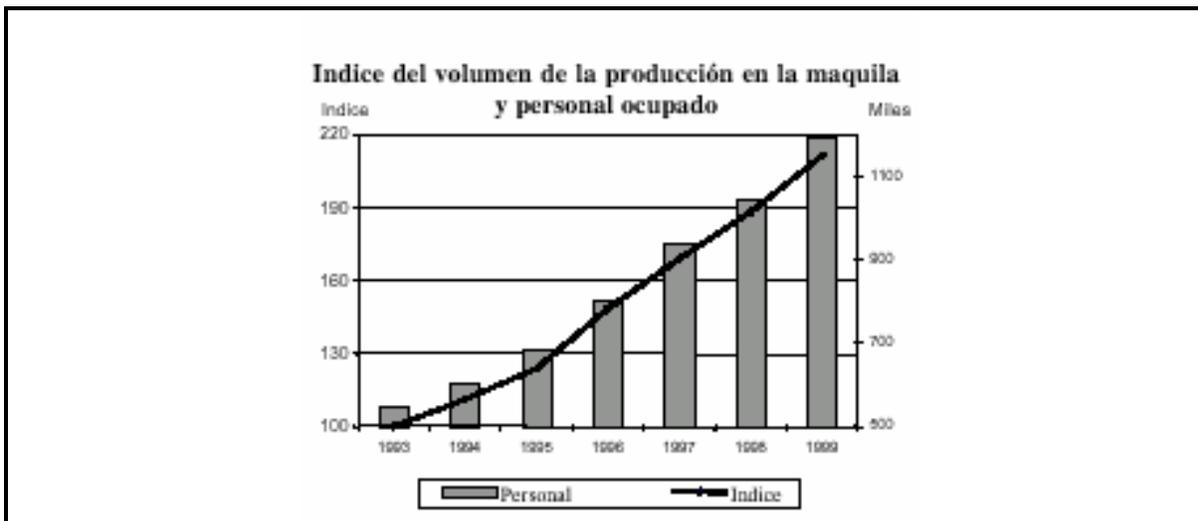


Figura 1.2  
Índice del Volumen de la Producción en la Maquila y el Personal Ocupado.  
Fuente INEGI, año 2002.

En tiempos recientes, el dinamismo del sector se vio severamente afectado por la contracción de la demanda externa. Durante el 2001, la producción

maquiladora registró una caída real de 9.2% anual y el ritmo de crecimiento del valor agregado sufrió una desaceleración significativa, al pasar de 15.5 a 4% de 2000 a 2001 (*figura 1.3*), el comportamiento del valor agregado obedeció a la notable reducción de la masa salarial al descenso gradual de las utilidades. Sin embargo, la severidad de esta desaceleración no fue homogénea en todo el país (*figura 1.4*), ya que mientras los estados fronterizos vieron disminuida la tasa de crecimiento del valor agregado de 14.1 a 2.4%, en los del interior del país ésta pasó de 19.9 a 7.1%

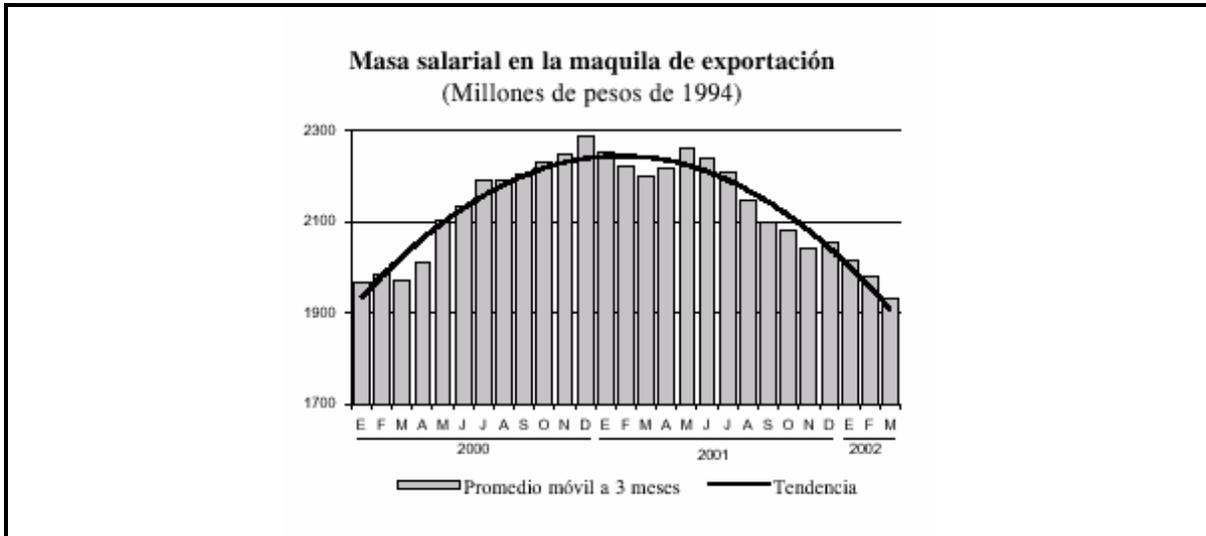


Figura 1.3  
Masa Salarial en la Maquila de Exportación.  
Fuente INEGI, año 2002.

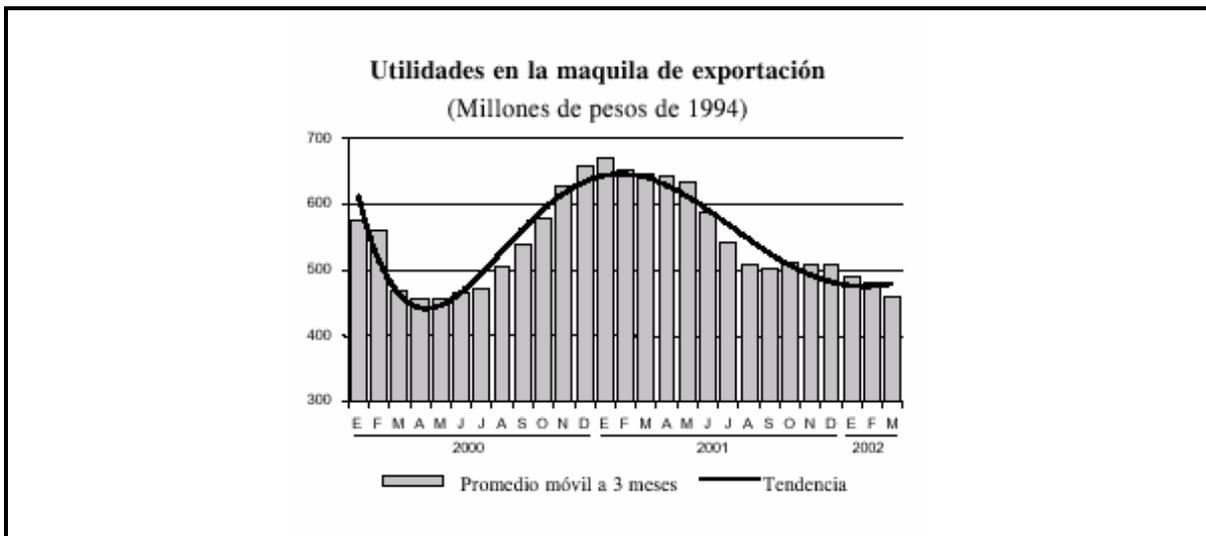


Figura 1.4  
Utilidades en la Maquila de Exportación.  
Fuente INEGI, año 2002.

La caída de la masa salarial (*figura 1.5*) fue consecuencia, exclusivamente, del drástico descenso del número de empleados en la maquila de exportación,



## ANTECEDENTES



puesto que las remuneraciones reales por persona siguieron creciendo. Se estima que 278,489 trabajadores del sector perdieron su empleo de octubre de 2000 a febrero de 2002, cifra que representa una contracción de la planta laboral del 21%. Más de tres cuartas partes de las personas despedidas en 2001 laboraban en establecimientos ubicados en los estados fronterizos. Las entidades en que más empleos se perdieron fueron: Chihuahua (63,645), Baja California (58,422), Sonora (21,743) y Tamaulipas (18,267) Los casos de Baja California y Sonora son particularmente graves ya que el número de despedidos fue equivalente a 44 y 23% de la planta laboral, respectivamente.

Por actividad (*figura 1.5*), los establecimientos dedicados a la elaboración de materiales y accesorios eléctricos despidieron a 88,081 personas, es decir, a uno de cada cuatro trabajadores. Asimismo, en las empresas textiles y en los fabricantes de equipo de transporte se perdieron 51,784 y 24,928 puestos de trabajo, respectivamente. En estas tres actividades, que en conjunto generan más de 62% del valor agregado de la industria maquiladora, se concentró 72.8% del total de empleos perdidos durante 2001.

	PERSONAL OCUPADO			
	2000	2001	Diferencia Absoluta	Diferencia Relativa
Total	1308	1081	-227	-17.4
Fronterizos	1015	837	-178	-17.5
Interior	293	244	-49	-16.7
<i>Actividades</i>				
Materiales y accesorios eléctricos y electrónicos	347	259	-88	-25.4
Prendas de vestir y otros textiles	287	235	-52	-18.1
Equipo de transporte y sus accesorios	244	219	-25	-10.2
Otras industrias manufactureras	144	129	-15	-10.4
Ensamble de artículos eléctricos y electrónicos	103	85	-18	-17.5
Ensamble de muebles, productos de madera y metal	62	53	-9	-14.5
Servicios	50	37	-13	-26.0
Productos químicos	26	21	-5	-19.2
Ensamble y reparación de herramienta	14	17	3	21.4
Alimentos	10	10	0	0.0
Ensamble de juguetes y artículos deportivos	13	10	-3	-23.1
Fabricación de calzado e industria del cuero	9	7	-2	-22.2

<sup>1</sup> Miles de personas al final del año.

Figura 1.5  
Personal Ocupado.  
Fuente INEGI, año 2002

### *Presión de la Industria Manufacturera China*

Si bien es cierto que el peso se ha seguido apreciando en los últimos años y que las ventajas que ofrece el Tratado de Libre Comercio de Norteamérica (*Nafta*) no pueden desvanecerse tan rápidamente, las expectativas de recuperación de Estados Unidos no son de un crecimiento superior al 2,0 ó 2,5% anuales, una cifra mucho menor al 4% anual registrado de 1996 a 2000. La evidencia estadística apunta, además, hacia una constante migración de plantas maquiladoras de México hacia otros países, en particular hacia China.



La República Popular China, ha pasado de ser un país casi olvidado en el panorama económico mundial a ser uno de los principales destinos de inversión en el mundo. Este país en la actualidad representa: 666 ciudades chinas en total, 11 ciudades con población superior a 2 millones, 23 ciudades con población entre 1 y 2 millones; 44 ciudades con población de entre 500,000 y 1 millón; 159 ciudades con población de entre 200,000 y 500,000; 393 ciudades con población menor a 200,000; 515 millones de población urbana (1996). Tan solo entre los años 2001 y 2002, más de 15 ciudades chinas alcanzaron un crecimiento del PIB superior al 12%.

China representa para muchos países una importante fuente de preocupación que se sustenta en: el acelerado crecimiento de su economía en los últimos años (con un superávit alcanzado de 22,541 mmd), por la creciente invasión de sus productos a mercados estratégicos poniendo en "jaque" a las empresas locales, por la partida de la inversión extranjera directa de países en desarrollo para aterrizar en China, el incesante incremento de sus exportaciones y la balanza comercial en aumento.

En el "Informe de Desarrollo Industrial 2002-2003" publicado por la Organización para el Desarrollo Industrial de las Naciones Unidas (*Unido*, por sus siglas en inglés), se compara el comportamiento industrial de más de 80 países para los años 1985-1998, y se indaga qué países ganaron posicionamiento competitivo, qué países perdieron y por qué, con base en ciertos componentes estructurales que afectan sus capacidades industriales y miden la habilidad de los países para producir manufacturas de manera competitiva.

La capacidad de producción de cada país se sintetiza en el llamado Índice de Rendimiento Competitivo Industrial (*RCI*), compuesto de cuatro indicadores básicos: valor agregado per cápita de la manufactura; exportaciones manufactureras per cápita; porcentaje de las actividades de alta y media tecnología en el valor agregado de las manufacturas; y, porcentaje de actividades de alta y media tecnología en las exportaciones manufactureras.

La Unido tiene en cuenta, además, la calidad de las exportaciones. Como es bien sabido, la inserción de exportaciones en los sectores más dinámicos del comercio internacional refleja el éxito de la estructura exportadora y productiva. Al subdividir la producción manufacturera en producción intensiva en alta, media y baja tecnología, así como en producción intensiva en recursos naturales, se observa que el promedio del comercio mundial aumentó en los años noventa a una tercera parte del ritmo que tuvieron las exportaciones intensivas en alta tecnología y a la mitad de la producción intensiva en tecnología media.

El informe señala, además, otros factores estructurales que inciden en el éxito exportador y productivo de un país, tales como la innovación tecnológica interna medida por la inversión y desarrollo (*I y D*), así como la adquisición de tecnología mediante la inversión extranjera directa (*IED*), las licencias y regalías



pagadas y las habilidades del capital humano, así como la calidad de la infraestructura del país.

La situación de México es mixta. Gana posición relativa tanto en las exportaciones manufactureras totales como en la estructura de éstas, al igual que en la Inversión Extranjera Directa (*IED*). Pierde, sin embargo, partes relativamente importantes en la generación del valor agregado per cápita, así como en su estructura tecnológica. El retroceso es mayor en las habilidades del capital humano y en la innovación y aprendizaje -medido por la investigación y desarrollo de las empresas- así como en la calidad de la infraestructura.

### El Costo de la Mano de Obra

La reciente entrada de China a la OMC tiene importantes repercusiones en el comercio internacional, la situación tan polémicamente aceptada con la que China se adhiere a la OMC (entrando como país en desarrollo) implica una alerta para países en condiciones menos favorables que la nación mencionada, porque representa no solo un atractivo destino de inversión para el sector tecnológico, industrial y de servicios, sino también para la manufactura, siendo esta última el “as bajo la manga” de la gran mayoría de los países en desarrollo. Sin embargo, no todo lo que brilla es oro, y hay que reconocer que aún cuando China ha logrado conseguir lo que muy pocos países logran, ser entre otras cosas el primer receptor de Inversión Extranjera Directa en el mundo, el costo de desarrollo es muy alto y la calidad de vida en el grueso de la población china es muy baja. Mientras que en México un obrero calificado gana en promedio 2.50 dólares por hora (*figura 1.6*), el salario en China promedia 50 centavos la hora.

Promedio del costo de la mano de obra en las distintas industrias					
	México	China	Hungría	Malasia	California
Remuneración promedio por hora	\$1.47	\$0.47	\$1.60	\$1.39	\$16.60
Beneficios e impuestos*	101%	52%	61%	56%	26%
Remuneraciones totales integradas	\$2.96	\$0.72	\$2.58	\$2.17	\$20.84
* incluye seguridad social, fondo de ahorro, transporte, billetes de descuento, distribución de ingreso INFONAVIT, bono navideño, Afore (fondo de contribución a la pensión), gastos médicos, entre otros. No incluye impuestos de nómina.					

Figura 1.6  
Costo de la mano de Obra en distintos países.  
Fuente Ministerio de Economía de México, año 2004.



## Inversión Alemana en México

Al mes de septiembre de 2004 se contaba con el registro de 897 sociedades con participación alemana en su capital social, esto es, el 2.9% del total de sociedades con inversión extranjera directa (*IED*) registradas en México (30,860). Las empresas con inversión alemana (*figura 1.7*) se dedican principalmente al sector servicios (33.8% del total), la industria manufacturera (34.2%) y el comercio (26.9%); y se localizan en mayor medida en el Distrito Federal, Estado de México y Puebla.

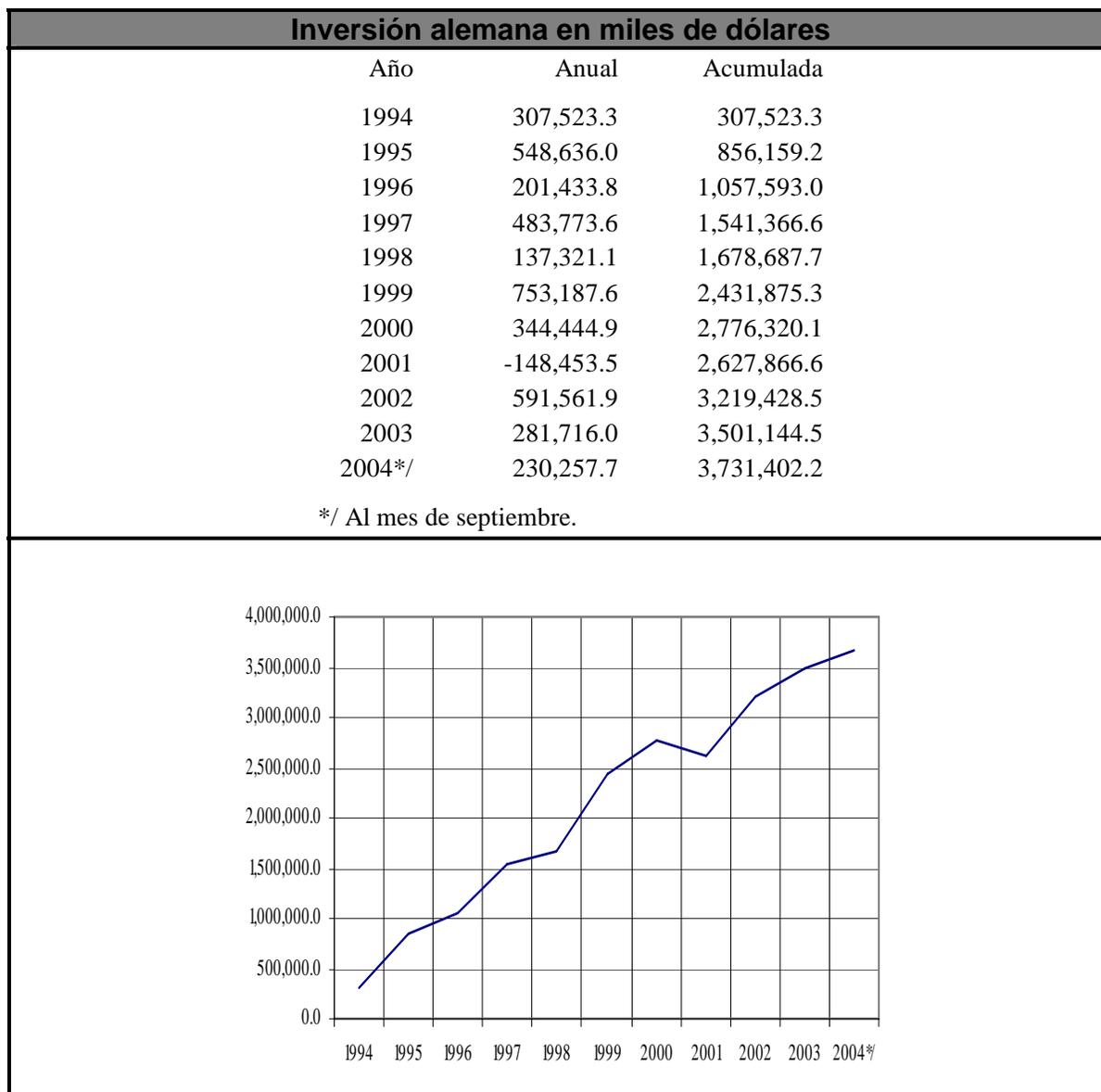


Figura 1.7

Inversión alemana en mdd

Fuente Registro Nacional de Inversiones Extranjeras, año 2004.



Entre enero de 1999 y septiembre de 2004, las empresas con capital alemán realizaron inversiones por 2,052.7 millones de dólares, cantidad que representa el 2.1% de la IED total que ingresó al país en ese lapso (91,568.9 md) y el 8.3% de la inversión aportada por los países de la Unión Europea (24,648.1 md) Con ello, Alemania ocupó la cuarta posición entre los países de la Unión Europea que en ese lapso materializaron inversiones en México.

La inversión alemana acumulada a partir de 1994 asciende a 3,731.4 md y equivale al 2.6% de la IED total destinada al país entre enero de 1994 y septiembre de 2004.

La inversión alemana canalizada al país entre enero de 1999 y septiembre de 2004 se destinó a la industria manufacturera, que recibió 79.9% del total; el comercio captó 14.3% y otros sectores, 5.8%.

Sin embargo, al igual que otras naciones, Alemania ha volteado la vista hacia China, nación que le ofrece un mercado potencial enorme al igual que mano de obra económica, no tan calificada como la de nuestro país, pero sí más abundante.

### *Caso Particular*

La empresa para la cual se realizó este trabajo, tiene ya varios años en nuestro país, dedicándose en sus inicios a la producción de electrodomésticos menores (cafeteras, licuadoras, planchas, etc.)

Sin embargo debido al crecimiento de otras empresas dedicadas a la misma línea, se vio en la necesidad de ampliar su mercado hacia el área de productos en aseo bucal. Para lograr sus propósitos fue necesario crear una filial que se encargara de producir toda una serie de cepillos dentales, tanto tradicionales como eléctricos; también produce hilo dental y los repuestos necesarios para esta nueva línea.

Para elaborar sus productos esta empresa cuenta con diversas áreas dentro de sus instalaciones como son: mantenimiento de moldes, inyección, líneas de ensamble automatizadas para cepillos tradicionales, líneas semiautomáticas para el envasado del hilo dental y celdas de trabajo para el ensamble y envasado del cepillo eléctrico. La producción del cepillo estándar está destinada para consumo nacional, mientras que el hilo dental y el cepillo eléctrico son productos que se exportan a EE.UU., Canadá, Brasil y Centro América.

### *Problemática de la Empresa con el Cepillo Eléctrico*

El cepillo eléctrico que se muestra en la *figura 1.8* se compone de varias piezas que varían en tamaño y complejidad geométrica, al final de cada actividad se tiene un subensamble que va aumentando su número de piezas hasta llegar al área de pruebas y envase.

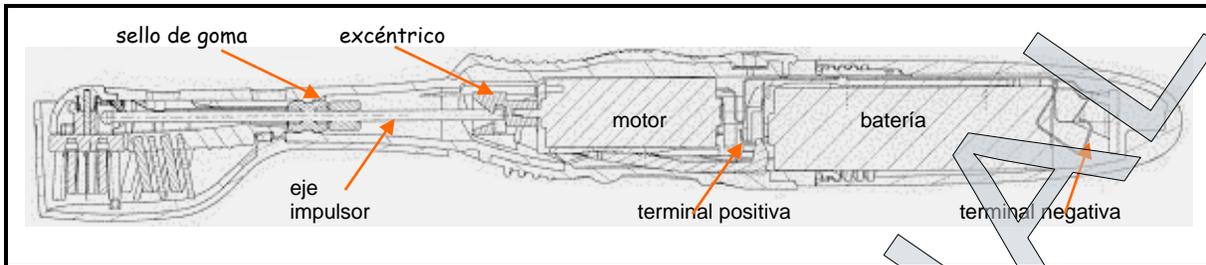


Figura 1.8  
Componentes del cepillo eléctrico

A continuación se describe el proceso de ensamble y algunos detalles que observamos en las visitas realizadas a las instalaciones de la empresa.

- Se orienta un excéntrico y se coloca en la flecha del motor para luego insertarlo con la ayuda de una prensa.

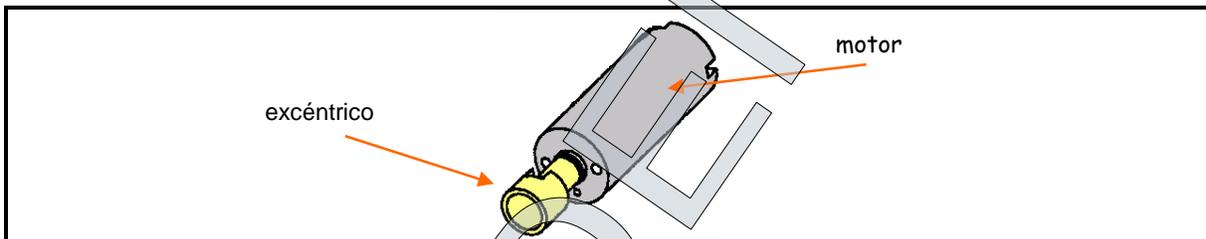


Figura 1.9  
Subensamble 01

- Este subensamble, se monta en la carcasa. Posteriormente se insertan las terminales eléctricas. Para facilitar el traslado y disminuir los tiempos del proceso, se colocan estos subensambles en grupos de 6 (rack)

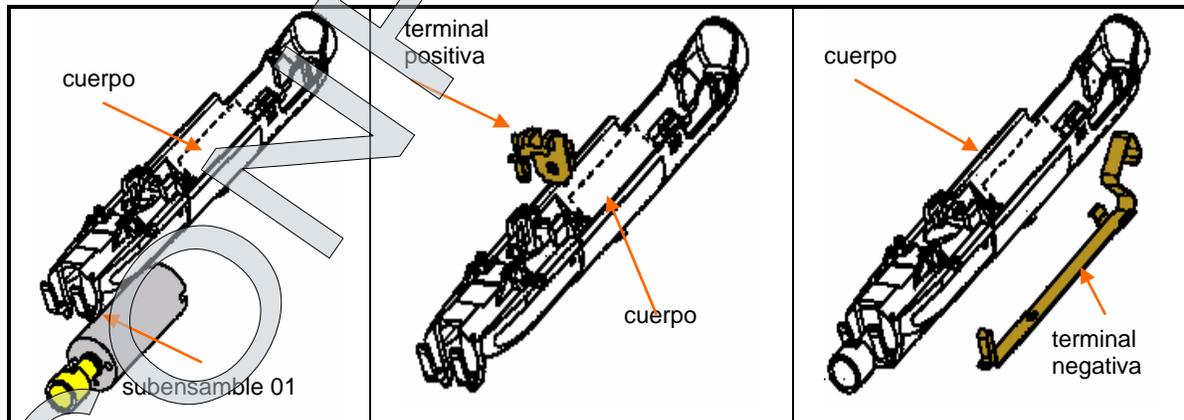


Figura 1.10  
Subensambles 02, 03 y 04

- El rack pasa al área de soldadura, en donde se sueldan las terminales eléctricas al motor.

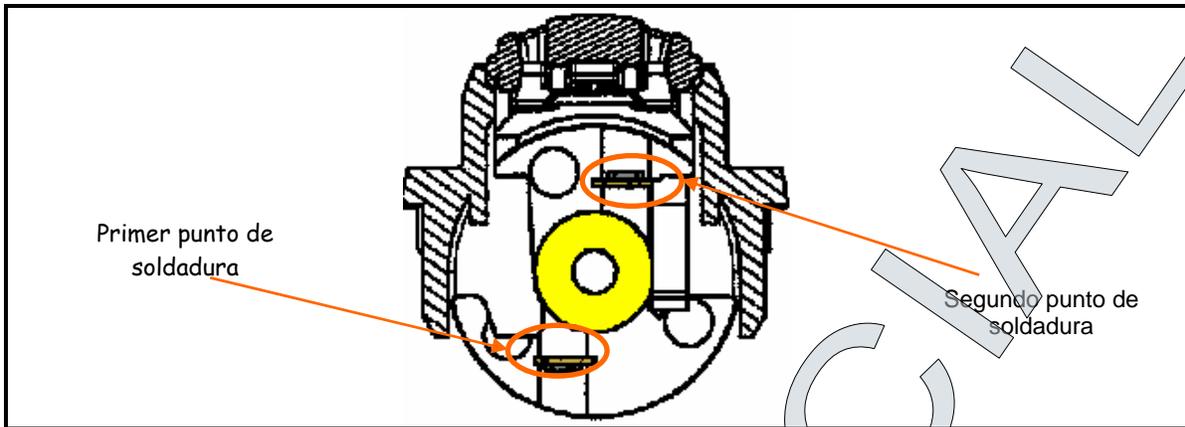


Figura 1.11  
Subensamble 05 y 06

- La siguiente etapa del proceso es el engrasado. Se engrasa el excéntrico y los soportes del interruptor.

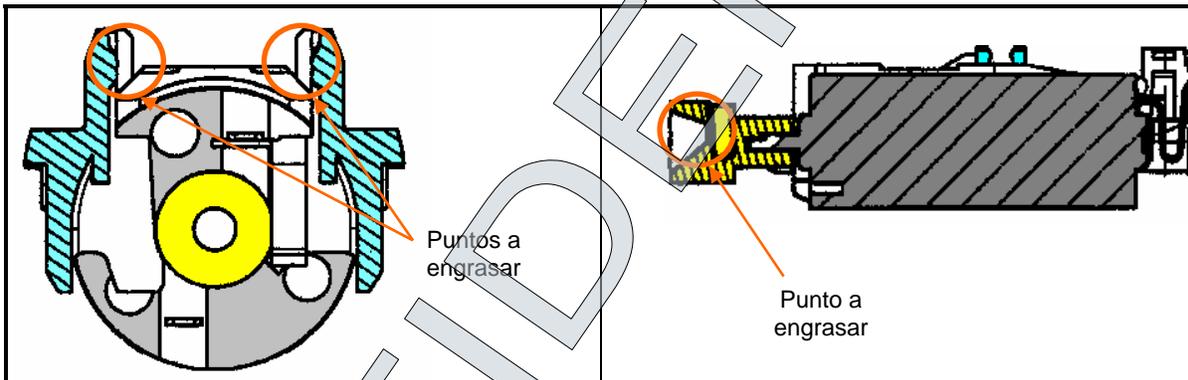


Figura 1.12  
Subensamble 07 y 08

- Se coloca el interruptor.

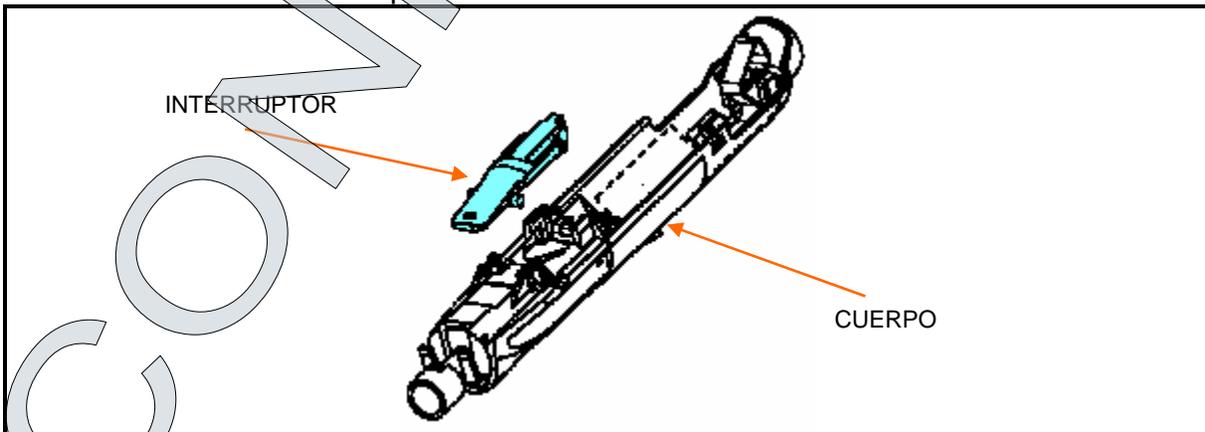


Figura 1.13  
Subensamble 09



- Se coloca el eje impulsor.

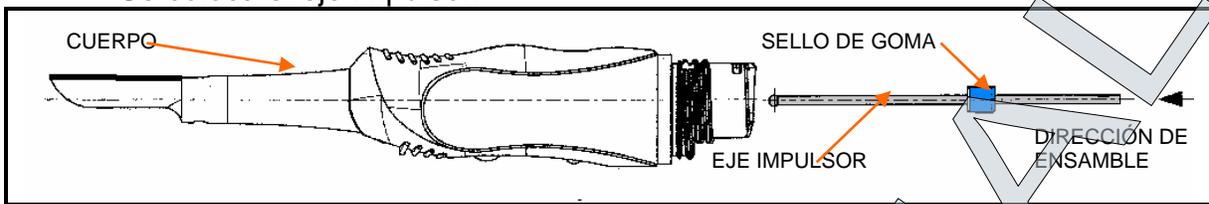


Figura 1.14  
Subensamble 10 y 11

- Se coloca la cabeza del cepillo (cerdas)
- Se coloca la pila.
- Se une la parte externa de la carcasa.
- Los operadores seleccionan un grupo de cepillos para realizarles las pruebas de calidad.
- El último paso es el correspondiente al envase y embalaje del producto terminado.

Es importante mencionar que la producción del cepillo eléctrico se realiza totalmente de forma manual, teniendo como consecuencia una producción limitante de 1,833,616 piezas / año. Los problemas del proceso de ensamble no tienen que ver con la habilidad del trabajador, sino con la geometría y disposición de las partes, la ubicación de los puntos a engrasar y soldar.

## Los deseos de la empresa

Debido a estos problemas de producción limitante y al costo de la mano de obra, la empresa ha condicionado su permanencia en el país a que se incremente la producción de cepillos eléctricos, sin que se modifique el diseño original de las piezas y sin aumentar la plantilla laboral que se tiene en este momento.

Finalmente, los deseos de la empresa pueden resumirse de la siguiente forma:

- Incrementar la producción actual de cepillos eléctricos.
- Diseñar e incluir una estación de engrasado.
- Reducir el tiempo de soldadura.
- Trabajar con la misma configuración de las celdas de trabajo.
- Reducir costos.
- Trabajar con el mismo personal.
- Incluir en la estación los equipos disponibles en la planta.



## *Objetivos*

1. Aplicar la teoría de tiempos y movimientos para determinar los problemas de un proceso de ensamble específico.
2. Realizar el diseño conceptual de una estación de engrasado para mejorar la eficiencia de un proceso de ensamble e incrementar la producción.



# CAPÍTULO 1

---





## Capítulo 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### *Estudio de tiempos y movimientos*

#### Antecedentes

Fue en Francia en el siglo XVIII, con los estudios realizados por Perronet acerca de la fabricación de alfileres, cuando se inició el estudio de tiempos en la empresa, pero no fue sino hasta finales del siglo XIX, con las propuestas de Taylor que se difundió y conoció esta técnica, el padre de la administración científica comenzó a estudiar los tiempos a comienzos de la década de los 80's, allí desarrolló el concepto de la "tarea" (Niebel, 1990), en el que proponía que la administración se debía encargar de la planeación del trabajo de cada uno de sus empleados y que cada trabajo debía tener un estándar de tiempo basado en el trabajo de un operario muy bien calificado. Después de un tiempo, fue el matrimonio Gilbreth el que, basado en los estudios de Taylor, ampliara este trabajo y desarrollara el estudio de movimientos, dividiendo el trabajo en 17 movimientos fundamentales llamados Therblig's (su apellido al revés)

#### Estudio de Tiempos

Esta técnica se conoce como medición del trabajo, comprende la forma de establecer un estándar de tiempo permisible para realizar una tarea determinada. Con base en la medición del contenido del trabajo del método prescrito, con la debida consideración de la fatiga, las demoras personales y los retrasos inevitables.

#### *Objetivos del estudio de tiempos*

- Minimizar el tiempo requerido para la ejecución de trabajos
- Conservar los recursos y minimizar los costos
- Efectuar la producción sin perder de vista la disponibilidad de energéticos o de la energía
- Proporcionar un producto que es cada vez más confiable y de alta calidad

#### Método de estudio de tiempos

Hay dos métodos básicos para realizar el estudio de tiempos:

- Continuo
- Regreso a cero

En el método continuo se deja correr el cronómetro mientras dura el estudio. En esta técnica, el cronómetro se lee en el punto terminal de cada elemento, mientras las manecillas están en movimiento. En caso de tener un cronómetro electrónico, se puede proporcionar un valor numérico inmóvil.



En el método de regresar a cero el cronómetro se lee a la terminación de cada elemento, y luego se regresa a cero de inmediato. Al iniciarse el siguiente elemento el cronómetro parte de cero. El tiempo transcurrido se lee directamente en el cronómetro al finalizar este elemento y se regresa a cero otra vez, y así sucesivamente durante todo el estudio.

La técnica de regreso a cero tiene las siguientes desventajas:

- Se pierde tiempo en regresar a cero la manecilla; por lo tanto se introduce a un error acumulativo en el estudio.
- Es difícil tomar el tiempo de elementos cortos
- No siempre se obtiene registro completo de un estudio en el que no se hayan tenido en cuenta los retrasos y los elementos extraños.
- No se puede verificar el tiempo total sumando los tiempos de las lecturas elementales.

La técnica del método continuo para registrar valores elementales de tiempo es recomendable por varios motivos. La razón más significativa de todas es, probablemente, la de que este tipo de estudio presenta un registro completo de todo el periodo de observación y, por tanto, resulta del agrado del operario y sus representantes. El trabajador puede ver que no se ha dejado ningún tiempo fuera del estudio, y que los retrasos y elementos extraños han sido tomados en cuenta.

### Estudio de movimientos

Ésta técnica comprende el análisis cuidadoso de los diversos movimientos que efectúa el cuerpo al ejecutar un trabajo. El estudio de movimientos se puede aplicar en dos formas, el estudio visual de los movimientos y el estudio de los micromovimientos. El primero se aplica más frecuentemente por su mayor simplicidad y menor costo, el segundo sólo resulta factible cuando se analizan labores de mucha actividad cuya duración y repetición son elevadas.

#### *Objetivos del estudio de movimientos*

- Eliminar o reducir los movimientos ineficientes y acelerar los eficientes.

Dentro del estudio de movimientos hay que resaltar los movimientos fundamentales Therblig's (*figura 2.1*), son 17 y cada uno es identificado con un símbolo gráfico, un color y una letra o sigla



THEBLIG	LETRA O SIGLA	COLOR
Buscar	B	negro
Seleccionar	SE	Gris Claro
Tomar o Asir	T	Rojo
Alcanzar	AL	Verde Olivo
Mover	M	Verde
Sostener	SO	Dorado
Soltar	SL	Carmín
Colocar en posición	P	Azul
Precolocar en posición	PP	Azul Cielo
Inspeccionar	I	Ocre Quemado
Ensamblar	E	Violeta Oscuro
Desensamblar	DE	Violeta Claro
Usar	U	Púrpura
Retraso Inevitable	DI	Amarillo Ocre
Retraso Evitable	DEV	Amarillo Limón
Planear	PL	Castaño o Café
Descansar	DES	Naranja

Figura 2.1  
Movimientos Fundamentales o Therblig's

Estos movimientos se dividen en eficientes e ineficientes de la siguiente forma:

### ***Eficientes o Efectivos***

- De naturaleza física o muscular: alcanzar, mover, soltar y precolocar en posición
- De naturaleza objetiva o concreta: usar, ensamblar y desensamblar

### ***Ineficientes o Inefectivos***

- Mentales o semimentales: buscar, seleccionar, colocar en posición, inspeccionar y planear
- Retardos o dilaciones: retraso evitable, retraso inevitable, descansar y sostener



## Principios de la economía de movimientos

### *Utilización del cuerpo humano*

Siempre que sea posible:

- Las dos manos deben de comenzar y completar sus movimientos a la vez.
- Nunca deben estar inactivas las dos manos a la vez, excepto durante los periodos de descanso.
- Los movimientos de los brazos deben realizarse simultáneamente y en direcciones opuestas y simétricas.
- Los movimientos de oscilación libre son más rápidos, más fáciles y más exactos que los restringidos o controlados.
- 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.
- 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.

### *Distribución del lugar de trabajo*

Siempre que sea posible:

- Debe haber un sitio definido y fijo para todas las herramientas y materiales.
- Las herramientas y materiales deben colocarse de antemano donde se necesitarán.
- Deben utilizarse depósitos y medios de abastecimientos por gravedad.
- Las herramientas como los materiales y mandos deben situarse dentro del área máxima de trabajo.
- Los materiales y las herramientas deben situarse en la forma que dé a los gestos el mejor orden posible.
- Deben utilizarse eyectores y dispositivos que permitan al operario dejar caer el trabajo terminado sin necesidad de utilizar las manos.

## *Diseño para manufactura y ensamble (DFMA)*

### Antecedentes

El comienzo de las técnicas DFMA tuvo lugar en los Estados Unidos en 1977 en un clima en el que debido a la fuerte competencia japonesa importaba:

- La reducción de los costos de fabricación de los productos
- El acortamiento de los tiempos de desarrollo de nuevos productos.

Se desarrollaron estudios experimentales para determinar los efectos de las distintas características de los componentes en los tiempos de ensamble, algunas de estas características influyentes son la simetría, el tamaño, el peso, el espesor o la flexibilidad de los componentes. (*Boothroyd, 2002*)

La introducción de la metodología completa de estas técnicas se hizo en 1989.

Para conseguir los citados objetivos se intentó subsanar uno de los mayores problemas existentes, la gran separación entre los departamentos de Diseño y Fabricación.

Además se hizo uso de las relaciones encontradas en la práctica entre los siguientes factores:

- Número de componentes de un producto
- Número de elementos de sujeción (generalmente tornillos)
- Número de operaciones de ensamble
- Tiempo de ensamble
- Tiempo de desarrollo del producto.

Según estas relaciones una disminución en el número de componentes reducirá el número de sujeciones, el número de operaciones de ensamble, y con ellas se reducirán también el tiempo de ensamble de desarrollo de un producto nuevo.

A partir de esto se observa que una inversión de tiempo en las etapas iniciales de diseño del producto de cara a reducir su complejidad, supone un ahorro en el tiempo durante su diseño detallado y la fase de prototipado. La *figura 2.2* representa lo que se intenta conseguir con esta técnica.

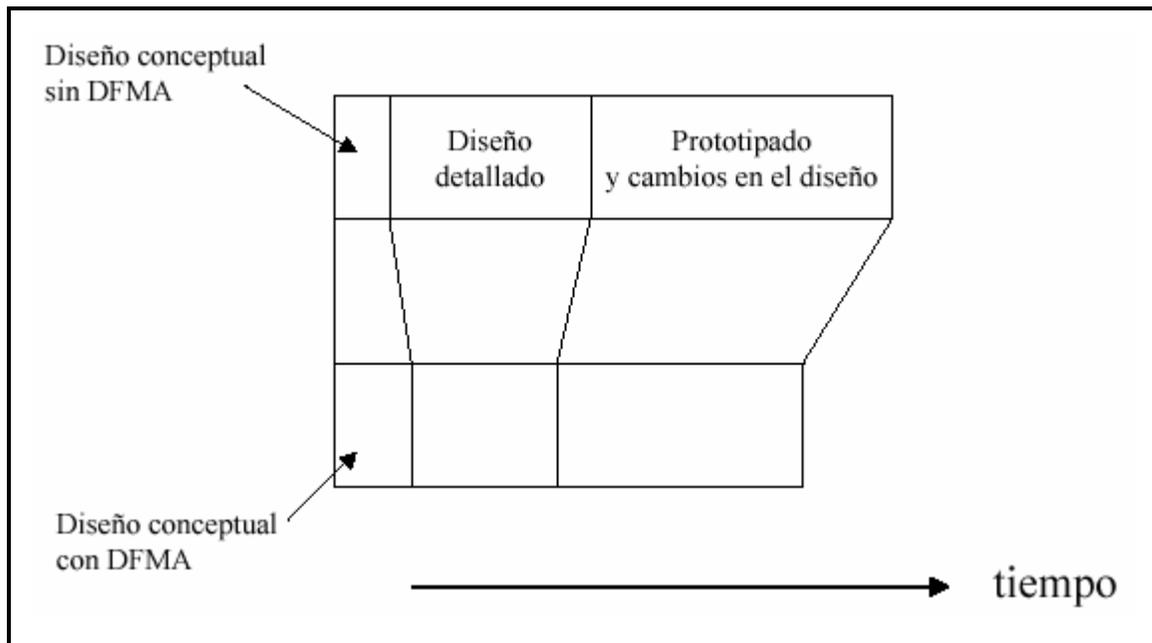


Figura 2.2  
Etapas del Diseño (Boothroyd, 2002)



## ¿Qué es DFMA?

Design for Manufacture and Assembly es una técnica que permite analizar de forma sistemática cualquier diseño propuesto anteriormente. A partir de este análisis se proponen posibles modificaciones del diseño existente que reducen el número de piezas y los tiempos de ensamble, con ellos también se reducen el tiempo de desarrollo y del producto y su coste superior.

## Objetivo

En términos generales, el objetivo del DFMA es crear, durante la etapa de diseño, un producto que resulte fácil de fabricar. Los principios que se ocupan para lograr ese objetivo suelen estar orientados por la idea de que es mejor diseñar productos que contengan menos elementos. Resulta conveniente precisar que el DFMA suele actuar de dos maneras: por una parte, reduciendo el costo de las diferentes piezas individuales que componen un producto y, por otra, disminuyendo el costo del ensamble de una colección de piezas.

Por lo que respecta al DFA, éste pretende la evaluación y mejora de un concepto de diseño a través de cambios, en ocasiones relevantes, en el número de piezas a ensamblar y en la localización o disposición de éstas.

## Principios

El método DFMA consta de unos criterios de aplicación sistemática y una serie de principios o guías. Estos principios sirven como ayuda a la hora de tomar decisiones durante el diseño de un elemento concreto.

La técnica se basa en los principios siguientes:

- Diseño de un componente base (chasis)
- Diseño modular
- Todas las operaciones de ensamble deben hacerse en una dirección, de ser posible, verticalmente (ensamble piramidal)
- Favorecer el uso de componentes multifuncionales
- Eliminar los ajustes cuando sea posible
- Proveer a los componentes de partes que los hagan autoposicionables
- Proveer acceso directo a todos los subensambles
- Minimizar los niveles de ensamblado
- Facilitar la orientación de los componentes haciéndolos lo más simétricos posible.

En un análisis DFMA se pueden distinguir dos etapas principales:

1. Diseño para ensamble (DFA). En el que se pretende simplificar la estructura del producto mediante una reducción en el número de piezas que lo componen.

El diseño para ensamble se realiza con ayuda de unos criterios contra los que se compara cada una de las piezas. Es importante que en esta etapa el equipo de trabajo sea multidisciplinario, es decir, esté formado por personas de procedencia variada dentro de la fábrica, en concreto debe haber componentes del departamento de fabricación además de los habituales del departamento de diseño.

2. Diseño para fabricación. Estimación temprana de los costos de fabricación de los componentes (DFM) mediante una selección conjunta de los materiales y los procesos productivos.

En esta etapa se trabaja con los componentes anteriormente definidos, se pretende determinar los procesos productivos y materiales que harán más económica la fabricación del producto.

El esquema general del método de trabajo DFMA (*figura 2.3*) es el siguiente:

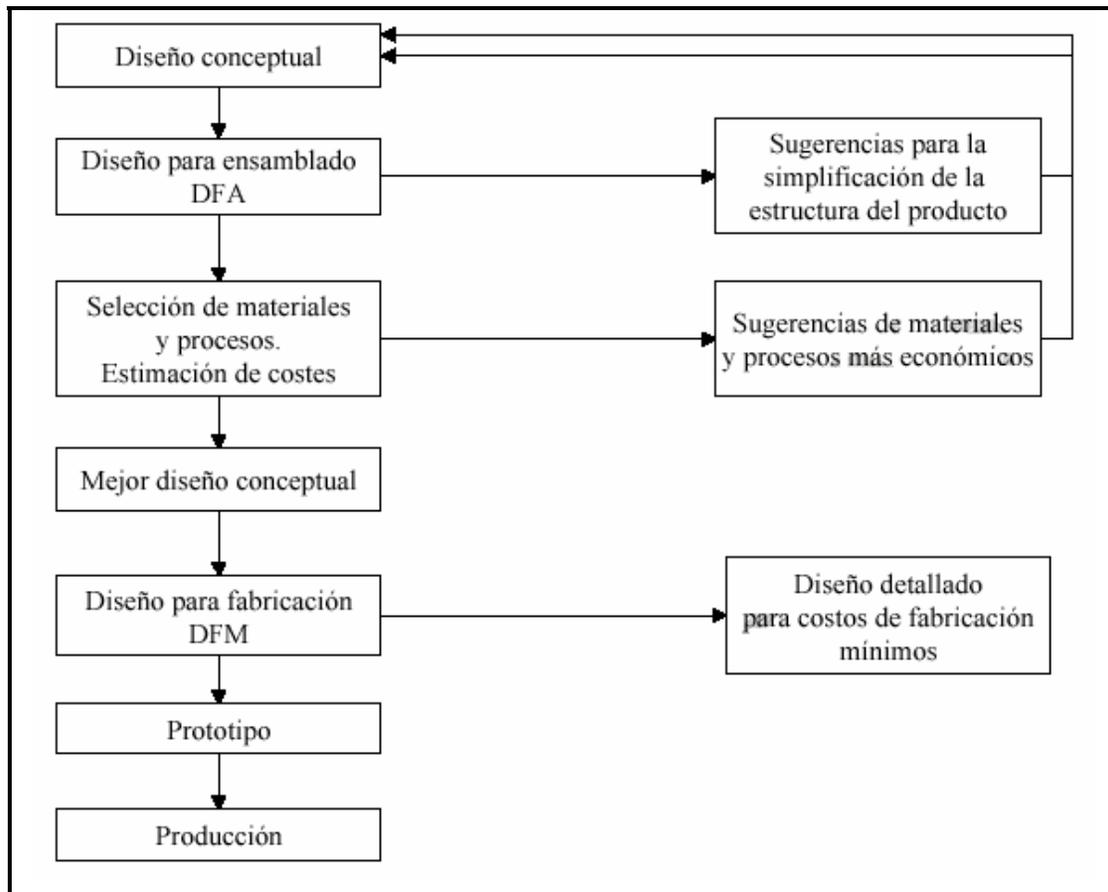


Figura 2.3  
Método de Trabajo DFMA (Boothroyd, 2002)

Como se puede ver en este esquema, se hace uso de la metodología DFA para ayudar a simplificar la estructura del producto modificando el diseño



conceptual. Se realiza una selección conjunta de los materiales y los procesos productivos que proporcionarán un mayor ahorro a la hora de fabricar los distintos componentes y, cuando se tiene un diseño suficientemente bueno se pasa a la etapa de DFM donde se hará un diseño detallado de cada parte del producto. Aquí se tendrán en cuenta los requisitos de cada componente para fijar unas tolerancias lo más amplias posibles, se intentará también que los procesos productivos sean los que respeten estas tolerancias con el menor costo de fabricación.

### Eficiencia de Ensamble

Un ingrediente esencial de la metodología DFA, es el uso de la medida de la eficiencia de ensamble de un diseño propuesto.

En general, los dos factores principales que afectan el costo de ensamble de un producto o subensamble son:

1. El número total de partes en un producto.
2. La facilidad de manipular, insertar y sujetar las piezas.

El término eficiencia de ensamble es usado para denotar una cifra obtenida de dividir el tiempo mínimo teórico de ensamble entre el tiempo actual de ensamble. La ecuación para calcular la eficiencia de ensamble manual ( $E_{ma}$ ) es:

$$E_{ma} = N_{min} \left( \frac{t_a}{t_{ma}} \right)$$

Ecuación 2.1  
Eficiencia de Ensamble

donde  $N_{min}$  es el número mínimo de piezas teórico,  $t_a$  es el tiempo básico de ensamble para una sola pieza y  $t_{ma}$  es el tiempo estimado para completar el ensamble del producto actual. El tiempo básico de ensamble es el tiempo promedio para una pieza que no presenta dificultades en su manipulación, inserción o sujeción.

La cifra para el número mínimo de piezas teórico representa una situación ideal en donde las piezas separadas se combinan en una sola, a menos que, mientras cada parte es añadida al ensamble, uno de los siguientes criterios se encuentre:

1. Durante la operación del producto, ¿tiene la pieza en cuestión movimiento relativo con otra ya ensamblada anteriormente? Sólo se consideran movimientos grandes, movimientos que puedan ser acomodados por elementos integrales de material elástico no se consideran.



2. ¿Debe ser la pieza de diferente material o debe estar aislada de todas las otras piezas ensambladas anteriormente? Sólo se aceptan razones fundamentales concernientes a las propiedades del material.
3. ¿Debe estar la nueva pieza separada de todas las otras piezas porque de otra manera el ensamble necesario y el desensamble serían imposibles?.

Con ayuda de estos tres criterios se pueden localizar las piezas que hacen disminuir la eficiencia de ensamble, es decir, se encontrarán las piezas que en teoría no son necesarias y podrán suprimirse del aparato.

Dentro de la etapa de DFM se intenta que el costo de producción de las piezas que se han determinado en la fase anterior sea el mínimo posible. Para conseguir esto, lo primero que se hace es una selección temprana de los materiales y los procesos productivos.

A la hora de elegir conjuntamente estos dos factores, normalmente, se tiende a buscar soluciones entre los procesos productivos que son conocidos por el equipo de diseñadores, este campo de búsqueda es normalmente muy estrecho, por lo que puede que no se encuentre la solución óptima.

Para ayudar a los equipos de diseño en esta labor, existen técnicas de aplicación sistemática similares a las descritas hasta ahora, que con ayuda de programas informáticos permiten ampliar el campo de soluciones.

### Ventajas

La aplicación de los principios del DFM no sólo permite conseguir importantes reducciones de costos sino que, adicionalmente, brinda otras ventajas, como:

- Reducción del número de componentes del producto o servicio.
- Incremento de la estandarización de componentes.
- Mejora de los aspectos funcionales de los productos.
- Mejora en el diseño de trabajo.
- Mejora en la seguridad en el trabajo.
- Mejora en la capacidad de prestación de servicios y mantenimiento del producto.
- Diseño robusto en calidad.

### Sistema de Clasificación para Manipulación

Este sistema de clasificación es un arreglo de características de las piezas, ordenando en forma ascendente los niveles de dificultad para manipular (*Boothroyd, 2002*)

Las características que afectan considerablemente al tiempo de manipulación son:



- Tamaño
- Espesor
- Peso
- Anidamiento
- Enredamiento
- Fragilidad
- Flexibilidad
- Deslizable
- Adherencia
- Necesidad de usar ambas manos
- Necesidad de usar herramientas de sujeción
- Necesidad de amplificación óptica
- Necesidad de asistencia mecánica

El sistema de clasificación para procesos manuales está asociado a las definiciones y tiempos estándar correspondientes que se presentan en la tabla del **anexo 1**.

### Efecto de la simetría de las piezas en el tiempo de manipulación

Una de las características geométricas principales en el diseño que afectan los tiempos requeridos para sujetar y orientar una pieza es su simetría. Las operaciones de ensamble siempre involucran al menos dos piezas componentes; la pieza que debe ser insertada y la pieza o ensamble (receptáculo) en el cual la pieza es insertada. La orientación involucra la apropiada alineación de la pieza a insertar con relación al receptáculo correspondiente y siempre puede ser dividida en dos operaciones distintas:

- i) alineación del eje de la pieza que corresponde al eje de inserción, y
- ii) rotación de la pieza alrededor de este eje.

Por eso es conveniente definir dos tipos de simetría para una pieza:

1. Simetría Alfa.- la cual depende del ángulo en el cual una pieza debe ser rotada sobre un eje perpendicular al eje de inserción, para repetir su orientación.
2. Simetría Beta.- la cual depende del ángulo en el cual una pieza debe ser rotada sobre el eje de inserción, para repetir su orientación.



La figura 2.4 nos muestra la simetría de piezas estándar.

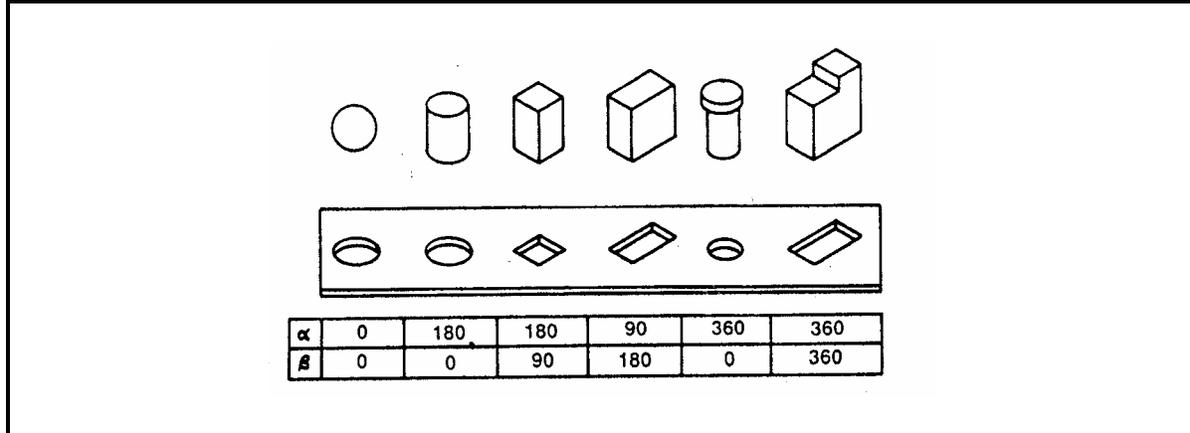


Figura 2.4

Simetría rotacional Alfa y Beta para varias piezas (Boothroyd, 2002)

## *Análisis económico de proyectos*

### Definición de análisis económico de proyectos

El análisis económico de proyectos consiste en el análisis de flujos de efectivo asociados a dos o más proyectos alternativos, con objeto de juzgar la valía económica relativa de éstos. (Uriegas, 1987)

Sobre esta definición conviene hacer las siguientes reflexiones:

#### *Planteamiento de alternativas.*

Todo análisis económico debe empezar por el planteamiento de alternativas: 1) aceptables desde el punto de vista técnico, 2) relevantes y 3) suficientes.

Si se plantean opciones que no son técnicamente comparables, o inadecuadas para resolver el problema, o irrealizables; o si no se plantean todas las alternativas pertinentes, el análisis económico carece de utilidad (véase la figura 2.5)

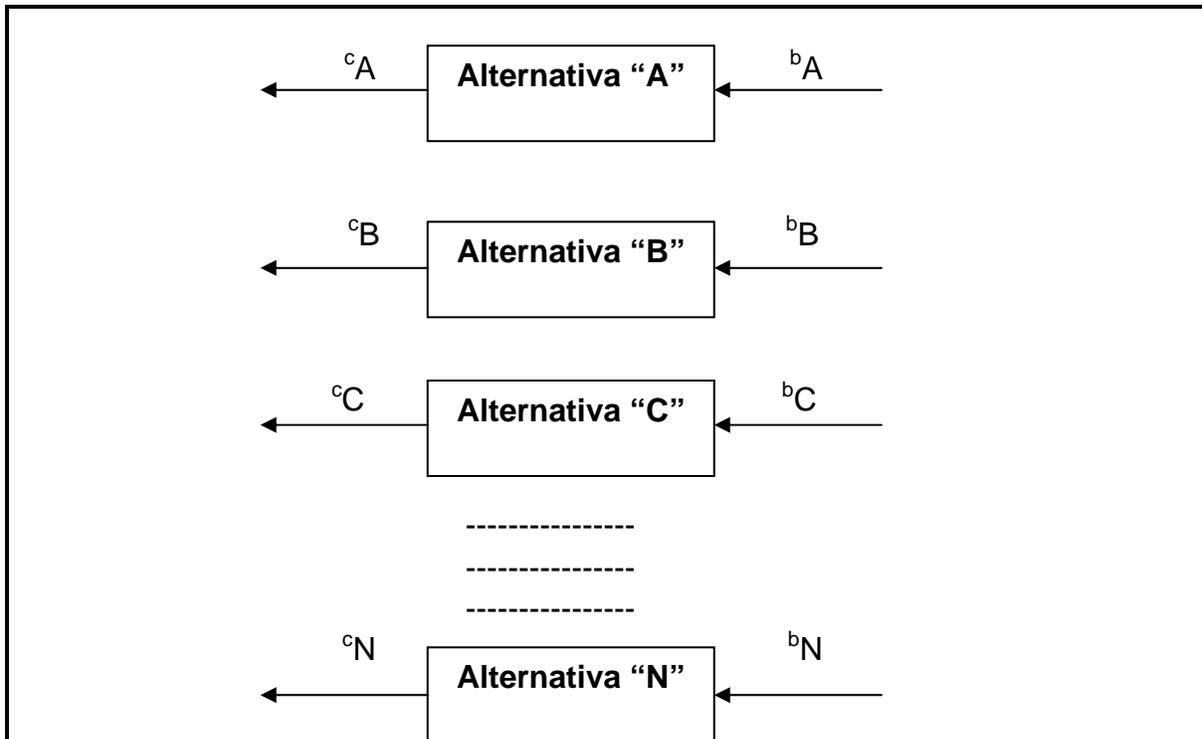


Figura 2.5

Tomada de Análisis económico de sistemas en la ingeniería

- ¿Se han planteado todas las alternativas relevantes?
- ¿Todas satisfacen el problema por completo?
- ¿Dan el mismo nivel y calidad de servicio?  
Si la respuesta es negativa
- ¿Se tomaron en cuenta las consecuencias económicas de las diferencias en el nivel y calidad de servicio?
- ¿Dan todas ellas la misma duración y servicio?  
Si la respuesta es negativa
- ¿Se ajustó el análisis a un mismo período de servicio?

### *Cursos de acción alternativos*

La comparación de proyectos alternativos incluye la de cursos de acción alternativos: por ejemplo, la decisión entre comprar o rentar una máquina equivalente a la comparación del proyecto “máquina comprada” con el proyecto “máquina rentada”.

### *Alternativa cero*

El análisis de la valía económica de un solo proyecto se incluye en la definición. En efecto, dicho análisis equivale a la comparación entre el proyecto que se examina y el ya existente; este último corresponde a la alternativa “no invertir” o “mantener la situación existente”, que se llama alternativa cero (*figura 2.6*)

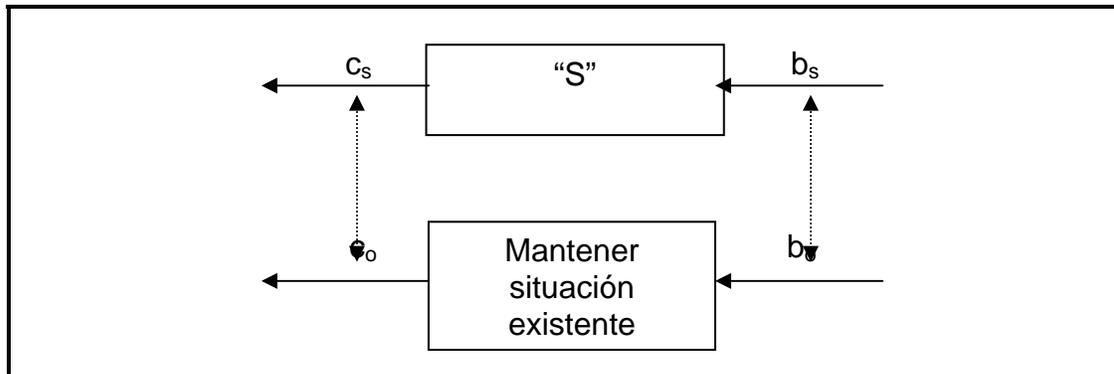


Figura 2.6

Tomada de Análisis económico de sistemas en la ingeniería

La alternativa cero equivale a preguntar: ¿La mejor alternativa de inversión es suficientemente buena? Por tanto, siempre debe considerarse en el análisis económico la alternativa cero, a menos que sea forzosa la inversión.

### *Optimización económica*

Cuando los parámetros técnicos de un proyecto son variables continuas que pueden tomar cualquier valor dentro de cierto intervalo, la selección de los parámetros más convenientes desde el punto de vista económico, o sea la optimización económica del proyecto, plantea una infinidad de opciones. Por ejemplo, de todas las secciones posibles de una trabe de concreto reforzado, se puede establecer la sección más económica (óptima); o bien, de todos los posibles períodos de servicio de una máquina, se puede fijar su vida económica o vida óptima. En el primer caso, los parámetros de la sección (ancho y peralte) pueden tomar cualquier valor dentro de límites prácticos; en el segundo, la vida o período de servicio también puede tomar un valor cualquiera dentro de ciertos límites técnicos.

### **Determinación del flujo de efectivo**

El segundo paso del análisis económico es determinar el flujo de efectivo (ingresos y egresos) asociado a cada alternativa, durante toda la vida útil del mismo; o sea, desde su concepción hasta su desmantelamiento, desecho o venta.

Para esto es necesario traducir a términos monetarios todas las entradas y salidas de cada alternativa (*figura 2.7*)

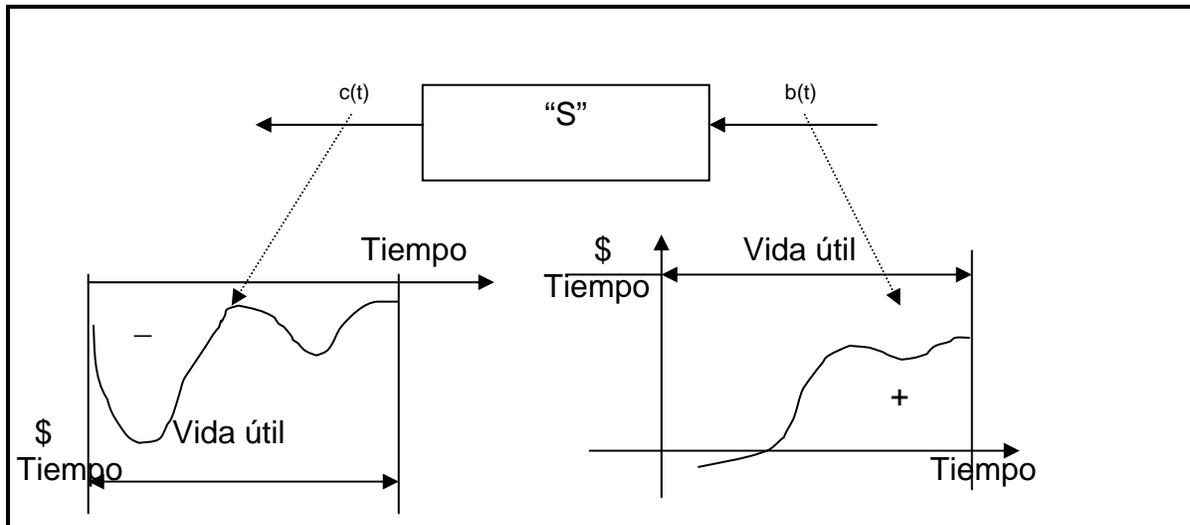


Figura 2.7

Tomada de Análisis económico de sistemas en la ingeniería

La distribución del flujo de egresos (costos) a lo largo del tiempo es, por lo general, diferente de la de los ingresos (beneficios); el primero se adelanta normalmente al segundo, ya que es necesario incurrir en costos de inversión, antes de poder obtener ingresos mediante la operación del proyecto.

### *Flujo de efectivo incremental*

En forma opcional, en vez de analizar el flujo de efectivo de cada alternativa, se pueden analizar las diferencias de flujos de efectivo entre pares de alternativas, para seleccionar, por último, la de mayor valía económica (*figura 2.8*)

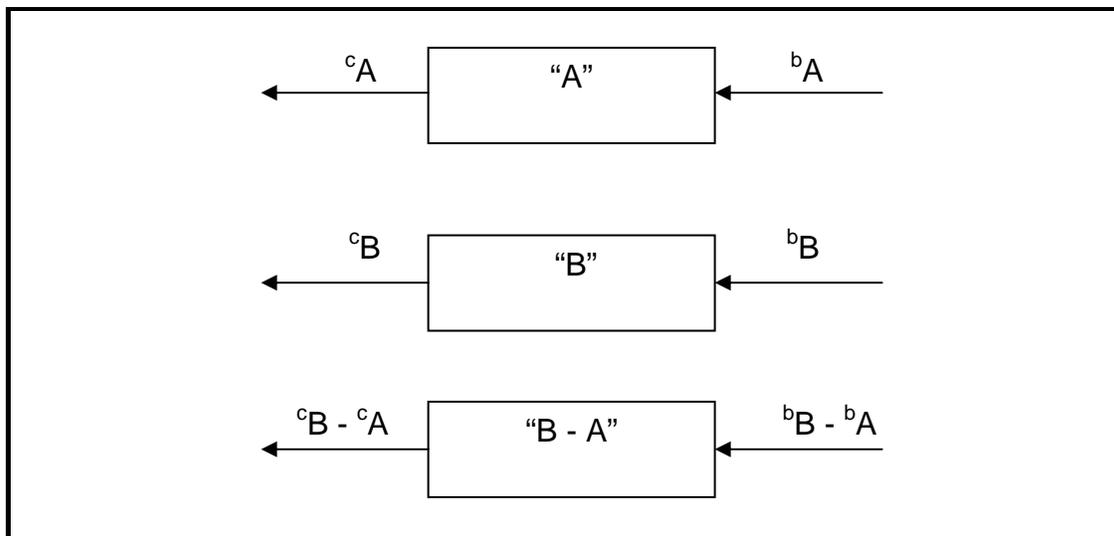


Figura 2.8

Tomada de Análisis económico de sistemas en la ingeniería



Si el flujo de efectivo del sistema “B – A” es satisfactorio, el sistema “B” es mejor que el sistema “A”.

La diferencia entre los dos flujos de efectivo se denomina flujo incremental. Así, en la figura 6, los flujos  $(c_B - c_A)$  y  $(b_B - b_A)$  constituyen el flujo incremental de “B” respecto a “A”, el cual se identifica como flujo “B – A”.

### *Criterio incremental*

Para el análisis económico sólo son relevantes las diferencias de flujos de efectivo entre las alternativas.

Los ingresos o egresos que son iguales para todas las alternativas, tanto por su monto como por el tiempo en que ocurren, pueden omitirse en el análisis.

### Criterios de decisión

Por último, la evaluación económica de sistemas basada en la comparación de flujos de efectivo, presupone el establecimiento de uno o más criterios de decisión, que permitan elegir entre dos o más flujos de efectivo el mejor, o sea el de mayor valía.

### Planteamiento de alternativas

Según se hizo notar, el análisis económico de proyectos tiene por base el planteamiento previo de opciones técnicas relevantes y suficientes. Ante cualquier problema caben siempre diversas soluciones o posibles cursos de acción, incluso no hacer nada, o sea mantener la situación existente.

Como señalan Fabricky y Thuesen, la economía de un proyecto puede basarse en el diseño, en la adecuada selección de materiales, en una perfección técnica equilibrada, en el tamaño o en la capacidad de producción, en la ubicación de las instalaciones, en la estandarización y simplificación de productos y procesos, en la apropiada combinación de elementos, y en otros factores propios de cada proyecto. Todos estos factores plantean potencialmente infinidad de soluciones.

Muchas decisiones erróneas se toman por falta de consideración de las alternativas atinadas. Conviene, por tanto, señalar algunos errores que se deben evitar en el planteamiento de alternativas, mediante una actitud creativa y crítica. (Uriegas, 1987).

1. **No identificar oportunidades.** Pasar por alto cursos de acción que ofrecen oportunidades de ahorros o beneficios. Una solución poco eficiente parece aceptable al compararla con otras aún menos eficientes. La generación de alternativas es un proceso creativo que exige el trabajo en equipo de especialistas técnicos y administradores, capaces de aportar diversos conocimientos y puntos de vista en relación con el problema que se analiza. De entre la multitud de opciones que pueden surgir, será necesario



descartar mediante análisis comparativos e investigaciones adicionales aquéllas que sean dominadas por otras, y quizá añadir cursos de acción que no se consideraron al principio. Una de las decisiones más importantes es la relativa a dar por terminado este proceso de generación y selección, haciendo un balance entre el tiempo y el costo que exigiría un estudio adicional, contra los beneficios potenciales del mismo. El resultado final será un conjunto de alternativas relevantes que se someterán a un análisis económico detallado.

2. **Prejuicios.** Estar convencido de antemano de que cierto curso de acción es el mejor; pueden plantearse alternativas triviales que no constituyen verdaderas oportunidades de ahorros o beneficios, y que están en desventaja con la alternativa preferida; o bien, se ajustan los datos del estudio para apoyar la alternativa deseada. Esta conducta no siempre implica falta de ética, ya que puede ser inconsciente, o producto de un convencimiento auténtico. Recordemos que muchos de los datos de un estudio económico son proyecciones y pronósticos de eventos futuros, sujetos a incertidumbre, que pueden juzgarse en forma optimista o pesimista. De cualquier manera, el pretendido estudio económico resulta un mero formulismo. La mejor prevención contra este tipo de errores radia en la participación de distintos expertos y exponentes de diversos intereses de la empresa.
3. **Sólo lo nuevo.** Estudiar alternativas de inversión en nuevo equipos, sin valorar las opciones correspondientes a mejoras de los métodos y sistemas presentes, reorganización de los servicios, mejor aprovechamiento del equipo actual, entrenamiento del personal, u otras medidas semejantes.
4. **Perfeccionismo técnico.** Proponer sistemas cuyo objetivo es la perfección técnica, sin examinar su eficiencia económica. En muchos casos, sistemas sencillos, que emplean técnicas elementales, resultan más eficientes económicamente que otros de mayor perfección técnica. Algunas proposiciones de modernización o de automatización tienen este error de planteamiento.
5. **Falta de visión de conjunto.** Falta de compatibilidad, total o parcial, del sistema propuesto respecto a otros sistemas conexos o respecto a sistemas de orden superior. Deben considerarse con mucho cuidado las restricciones que impone el ambiente del sistema, y proceder del análisis de las decisiones o de sistemas mayores al de las decisiones o sistemas menores, comprendidos en los primeros. Cuando esto no es posible o práctico, el resultado del análisis económico de un sistema parcial debe considerarse de carácter preliminar, sujeto a revisión al integrar dicho estudio con el de otros sistemas. El punto de vista de proyectos implica que la economía de un conjunto reside en la apropiada combinación de elementos, más que en la economía individual de cada uno de éstos.
6. **Parcialidad.** No valorar con objetividad las desventajas de cada alternativa junto con sus ventajas. Hay tendencia a pasar por alto las desventajas de las propuestas personales haciendo resaltar sus ventajas. A veces se repite la misma ventaja, expresada en otras formas, como si se tratara de ventajas diferentes. Siempre que sea posible, las ventajas y desventajas



deben traducirse en términos de dinero, cuidando que no haya duplicaciones.

### Criterios económicos de decisión

#### *Criterio primario de decisión*

Los criterios dependerán del enfoque con que se haga el análisis. Debe haber siempre un criterio primario de decisión que refleje lo más fielmente posible el objetivo básico del proyecto, desde el punto de vista económico.

Ahora bien, el objetivo económico de cualquier proyecto es lograr el mejor aprovechamiento posible de los recursos limitados, o sea obtener de éstos la máxima utilidad; por consiguiente, el criterio primario de decisión debe corresponder a dicho objetivo.

Sin embargo, ¿qué debe entenderse por mejor aprovechamiento posible?, ¿máxima utilidad para quién? Por supuesto, la respuesta depende del enfoque del que juzga.

En el análisis económico de un sistema, el criterio primario de decisión debe reflejar el punto de vista del propietario del sistema, que es quien fija los objetivos de éste.

Así, en la empresa privada primero deberán considerarse los intereses de los accionistas; en las obras públicas, los de la población en general. En este último caso pueden oponerse los intereses de una localidad a los de una región o a los del país. Es importante que la perspectiva sea la apropiada para el sistema de que se trata.

#### *Criterios secundarios de decisión*

Los costos y beneficios en que se basa el análisis económico de un sistema tienen por lo general carácter aleatorio, lo cual significa que su monto puede estimarse, pero no señalarse con precisión y certeza. Por ellos, los resultados del análisis están sujetos a cierto grado de riesgo e incertidumbre, y no son siempre incontrovertibles. Por otra parte, el proyecto que se analiza persigue normalmente diversos objetivos; así, una empresa, aparte de perseguir utilidades a corto plazo, puede buscar una posición en el mercado y en las comunidades en que opera, satisfacer las necesidades de sus empleados y trabajadores, y lograr un crecimiento estable y sostenido.

Las dos circunstancias expuestas hacen necesario o deseable tener criterios secundarios de decisión que reflejen los objetivos inconmensurables del proyecto. Cuando las diferencias entre dos o más alternativas, de acuerdo con el criterio primario, son más bien pequeñas, los criterios de decisión secundarios dan la pauta para una decisión correcta.



### *Diversos criterios aplicables*

A continuación se examinan algunos criterios que pueden ser válidos en circunstancias diversas:

1. **Máxima utilidad:** éste es el criterio primario más general, aplicable a la empresa privada y a las obras públicas. Cuando los costos incurridos y beneficios recibidos por el proyecto se expresan en dinero, la utilidad significa exceso de ingresos sobre los egresos, como los flujos respectivos difieren en cuanto a su distribución a lo largo del tiempo, es necesario tomar en consideración la diferente utilidad que tiene para el inversionista una misma suma recibida en fechas o tiempos diversos, fenómeno que por lo general se denomina valor-tiempo del dinero.
2. **Costo mínimo:** cuando se especifica la clase y nivel de servicio que debe dar un proyecto, el criterio de costo mínimo equivale al de máxima utilidad. En otros casos este criterio puede no ser válido, ya que lo que cuesta menos no es siempre lo más adecuado.
3. **Mínima inversión:** cuando existen problemas de financiamiento y escasez de capital, puede preferirse una alternativa a otras más productivas, pero que requieren mayor inversión de capital.
4. **Riesgo mínimo:** cuando los resultados de operación de un sistema son muy inciertos y los recursos por comprometer cuantiosos, el criterio de reducir al mínimo los riesgos puede tener el carácter de primario; en otros casos, puede ser un importante criterio secundario.
5. **Máxima calidad del producto o servicio:** hay circunstancias en las cuales la calidad del producto o servicio reviste particular importancia, y el costo tiene una importancia secundaria. La calidad del servicio puede usarse también como criterio secundario de decisión.
6. **Pay-Back.** El Pay-Back o el período de recuperación representa el número de años en que la inversión se recupera vía facturación, cobros o utilidades, considerando el término inversión como la suma total de activos del proyecto.
7. En la empresa privada podrían ser válidos otros criterios, como mejorar las relaciones laborales, incrementar las ventas a un nivel especificado, aumentar el prestigio de la empresa, o algún otro criterio especial.
8. En las empresas públicas y en la evaluación de obras públicas pueden ser criterios importantes: la contribución al desarrollo del país, el efecto en la balanza monetaria, la creación de fuentes de trabajo, la más equitativa distribución del ingreso y otros criterios de carácter social.

### **Pay-Back**

Este método se utiliza para conocer el número en que se recupera la inversión.

Como los proyectos de inversión implican una serie de riesgos, es recomendable la evaluación por el método Pay-Back para casos en que las empresas tratan de reducir el tiempo de recuperación de su inversión. Tiene la



ventaja de rapidez en el cálculo y facilidad en la interpretación, sin embargo no tiene en cuenta la vida probable de la inversión ni tampoco se refleja ninguna base de comparación con los índices de rentabilidad del proyecto.

El Pay-Back se obtiene aplicando la expresión siguiente:

$$\text{Periodo de Recuperación} = \frac{\text{Inversión Total}}{\text{Beneficio Promedio Anual}}$$

Ecuación 2.2

Tomada de Las fases del proyecto y su metodología

Este método no considera el valor del dinero a través del tiempo, elemento imprescindible en la evaluación financiera de un proyecto.





## Capítulo 3 APLICACIÓN PRÁCTICA

### *Tiempos y movimientos*

El estudio de tiempos comprende la técnica que permite establecer un estándar de tiempo para realizar una actividad preestablecida, el estudio de movimientos nos permite analizar los movimientos que tiene que ejecutar el cuerpo humano para desarrollar una actividad.

Para llevar a cabo el estudio de tiempos y movimientos, nosotros decidimos utilizar el método de regreso a cero; tomando las lecturas al término de cada actividad. El estudio se realizó haciendo uso de los movimientos fundamentales Therblig's (*Niebel, 1990*)

El equipo que utilizamos para dicho estudio fueron tres cronómetros digitales y el formato (*figura 3.1*) que se muestra a continuación:

Hoja No: (1)					Fecha: (4)	
Proceso: (2)					Lugar: (5)	
Pieza: (3)					Actividad: (6)	
(7) Therblig Descripción	(8) Therblig Sigla	(9) Aplica en:	(10) Forma	(11) Tiempo 1	(12) Tiempo 2	(13) Tiempo 3
				(14)	Tiempo promedio [S]	

Figura 3.1  
Formato utilizado para realizar el estudio de tiempo y movimientos



## Procedimiento

La manera correcta de llenar el formato es la siguiente:

1. Es importante anotar el número de hoja, sobre todo cuando dentro de alguna actividad se desarrollen los movimientos suficientes como para ocupar dos formatos. Los números son consecutivos para las diferentes actividades, en caso de ser la misma se utiliza la siguiente notación 1 / 2.
2. El proceso hace referencia a lo que se está realizando; armado, ensamblado, vaciado, etc.
3. En el recuadro de pieza anotamos el producto que se va a obtener al término del proceso, en este caso en todas las hojas es el cepillo eléctrico.
4. La fecha en la cual fueron tomados los tiempos: día / mes / año.
5. El lugar es donde se está realizando el estudio dentro de la planta.
6. La actividad es una parte del proceso, cada una de ellas es realizada por diferentes operadores, y al término de una se obtiene un subensamble, la actividad toma el nombre de este subensamble.
7. En la descripción Therblig's anotamos los movimientos fundamentales que realiza el operador durante toda la actividad.
8. La sigla Therblig's, es el movimiento fundamental, sólo que abreviado con letras mayúsculas.
9. Aplica en: se refiere a todas las piezas y los equipos que intervienen en la actividad y los cuales son manipulados por un operador.
10. La forma, es la manera en la cual se llevan a cabo los movimientos; es decir, si son realizados por una máquina o por el operador, aquí la mayoría de las formas es manual.
11. El tiempo 1, tomado con un cronómetro en ceros al inicio de cada actividad, al final de cada actividad el cronómetro se detiene y esta lectura es la que anotamos.
12. Otra persona toma el tiempo de la misma actividad.
13. Se vuelve a tomar el tiempo de la misma actividad, la diferencia es que la realiza una tercer persona.
14. Anotamos el promedio de las tres lecturas obtenidas para cada actividad.

La forma en que fueron tomados los tiempos es la siguiente:

1. Llenamos los recuadros superiores del formato, con los datos que se piden. El estudio se lleva a cabo el mismo día para todas las actividades, en una sola celda de trabajo.
2. Utilizamos los Therblig's para identificar movimientos innecesarios que incrementen el tiempo del proceso. Realizamos el estudio de movimientos antes de tomar las lecturas de los tiempos para poder determinar que Therblig's intervienen en cada actividad.
3. Con cronómetro y formato en mano, nos ubicamos al inicio del proceso.
4. Cada uno de nosotros registró un tiempo para la primera actividad y lo anotó en el formato.



## CAPÍTULO 3



5. Regresamos el cronómetro a ceros y avanzamos a la siguiente actividad, hasta terminar el proceso de ensamble.
6. Al terminar de registrar las lecturas para todas las actividades, obtuvimos el promedio para cada una.

Los resultados que obtuvimos para la actividad 1 se muestra en la siguiente tabla, el resto de las actividades se presentan en el **anexo 2**:



## APLICACIÓN PRÁCTICA



Hoja No: <b>1</b>					Fecha: <b>10/12/2004</b>	
Proceso: <b>Armado</b>					Lugar: <b>Celda 1</b>	
Pieza: <b>Cepillo eléctrico</b>					Actividad: <b>Ensamble de motor y excéntrico</b>	
Therblig Descripción	Therblig Sigla	Aplica en:	Forma	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3
Tomar	T	Motor	Manual	<b>4.31</b>	<b>4.33</b>	<b>4.32</b>
Mover	M	Motor	Manual			
Colocar en posición	P	Motor	Manual			
Sostener	SO	Motor	Manual			
Tomar	T	Excéntrico	Manual			
Mover	M	Excéntrico	Manual			
Colocar en posición	P	Excéntrico	Manual			
Ensamblar	E		Manual			
Mover	M	Sub 1	Manual			
Colocar en posición	P	Sub 1	Manual			
Soltar	SL	Sub 1	Manual			
Ensamblar	E	Sub 1	Prensa			
Tomar	T	Sub 1	Manual			
Mover	M	Sub 1	Manual			
Sostener	SO	Sub 1	Manual			
Tomar	T	Carcasa	Manual			
Mover	M	Carcasa	Manual			
Colocar en posición	P	Sub 1	Manual			
Ensamblar	E		Manual			
Mover	M	Sub 2	Manual			
Soltar	SL	Sub 2	Manual			
				Tiempo promedio [S]	<b>4.32</b>	

Con estos resultados elaboramos el siguiente diagrama del proceso (*figura 3.2*), en el se que muestran los tiempos unitario y acumulado promedio para cada actividad, así como también el tiempo total que se lleva el ensamble de un cepillo.



### CAPÍTULO 3

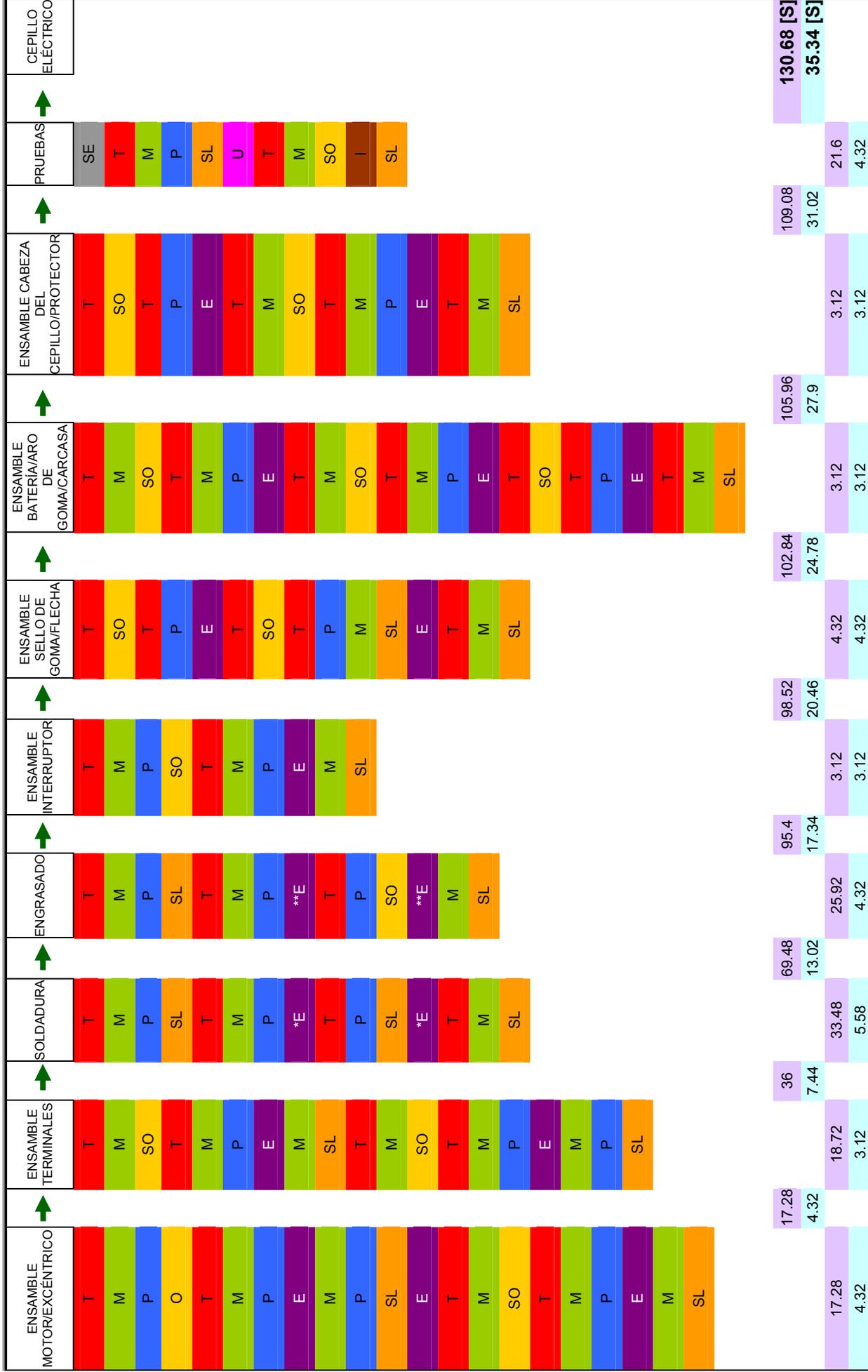


Figura 3.2

Diagrama de Proceso obtenido en el estudio de Tiempos y Movimientos



## Áreas de oportunidad

En base a estos resultados observamos lo siguiente:

1. Los obreros encargados de ensamblar las terminales eléctricas emplean más tiempo del necesario en tomar dichas terminales, ya que éstas se encuentran almacenadas en volumen y por su geometría se atorán fácilmente entre ellas.
2. La soldadura es una de las actividades en donde se consume más tiempo, porque la aplicación de ésta es en dos puntos, uno en la parte superior del ensamble y el otro en la parte inferior. Debido a esto, es necesario rotar el ensamble 180°, es aquí donde el operador invierte tiempo extra, generando con esto un cuello de botella.
3. El engrasado es otra de las actividades en donde se invierte más tiempo; la aplicación debe realizarse en tres puntos para cada cepillo, sin embargo estos puntos se encuentran distribuidos de tal forma que la grasa debe aplicarse a dos puntos ubicados en la parte superior en donde se coloca el interruptor. El otro punto a engrasar se encuentra en el interior del excéntrico en el cual se inserta un eje. Para los dos primeros puntos no existe problema, pero para el punto que se encuentra en el excéntrico es necesario levantar el rack de la mesa de trabajo. En esta actividad también se produce un cuello de botella.

Teniendo el antecedente, las actividades que consumen más tiempo del proceso son la soldadura y el engrasado, por lo tanto consideramos conveniente reducir estos tiempos; de ser así estaríamos disminuyendo los costos de operación, ya que estas actividades se desarrollan de forma manual en su totalidad.

## **Análisis de Boothroyd**

Éste pretende la evaluación y mejora de un concepto de diseño a través de cambios, en ocasiones relevantes, en el número de piezas a ensamblar, en la localización o disposición de éstas, los tiempos de ensamble, que con ellos también se reducen el tiempo de desarrollo y del producto y su coste superior.

El desarrollo de este análisis se llevó a cabo utilizando las tablas de Boothroyd, en donde se ubica el tiempo estándar dependiendo de las dimensiones y geometría de las piezas a ensamblar, tomando en cuenta los principios y guías descritas en el capítulo 2.

El formato utilizado en el análisis de Boothroyd (*figura 3.3*) se muestra y se describe a continuación:





mínimo de partes en soldadura y engrasado, por no ser considerarlas como una parte)

10. El nombre dado a la actividad u operación a realizar.
11. TM es la suma total del tiempo de operación.
12. NM es la suma del número mínimo de partes.
13. La eficiencia del ensamble dada en porcentaje, la cual está en función del tiempo total de operación y el número mínimo de partes, el tres que aparece es el tiempo ideal que se estableció.

El análisis de Boothroyd se realizó de la siguiente forma:

1. Se hizo un estudio previo referente a las partes que intervienen en el ensamble y el orden que se sigue para llegar a éste, con el objeto de otorgar a cada parte su número dentro del ensamble.
2. Basándonos en el estudio de tiempos y movimientos, se determinó el número de veces que se repite cada actividad.
3. En el estudio previo también se pudo obtener el código de manipulación para todas las actividades.
4. También el estudio previo ayudó a obtener el código de inserción.
5. Sobre la base de los movimientos, a las partes que intervienen en las diferentes actividades, al nombre dado en el estudio de tiempos y movimientos, y para mantener congruencia, no se cambiaron los nombres de las actividades.
6. El número mínimo de partes, se refiere a las partes que son susceptibles de ser eliminadas, sin alterar el ensamble y el buen funcionamiento del cepillo.
7. Teniendo los puntos anteriores y haciendo uso de las tablas de Boothroyd, obtuvimos los tiempos de manipulación para cada actividad.
8. Obtuvimos el tiempo de inserción, en función de su código.
9. Determinamos el tiempo de operación sobre la base de los puntos anteriores.
10. Los costos de operación, no se determinaron en este análisis, pero se calculan más adelante.
11. Al final se sumaron los tiempos y el número mínimo de partes, para obtener la eficiencia, y así poder emitir un juicio más atinado.

La tabla siguiente es el resultado del Análisis de Boothroyd, manipulando el número mínimo de partes, para determinar la eficiencia del proceso al suprimir las actividades que llevan mayor tiempo de operación, o bien alguna de ellas, teniendo así diferentes escenarios que pudimos comparar con el ensamble actual del proceso. Los escenarios se pueden ver en el **anexo 3**.



## Ensamble actual

(1) Número de parte	(2) Número de veces que se realiza la operación	(3) Código de manipulación	(4) Tiempo de manipulación	(5) Código de inserción	(6) Tiempo de inserción	(7) Tiempo de operación	(8) Costo de operación	(9) Número mínimo de partes	(10) Nombre
1	1	30	1.95	30	2	3.95	-	1	Carcasa
2	1	30	1.95	31	5	6.95	-	1	Motor
3	1	33	2.51	00	1.5	4.01	-	1	Terminal (-)
4	1	31	2.25	30	2	4.25	-	1	Terminal (+)
5	2	88	6.35	95	8	14.35	-	0	Soldadura
6	2	88	6.35	99	12	18.35	-	0	Grasa
7	1	31	1.95	31	5	6.95	-	1	Interruptor

Eficiencia = $[3(NM)/(TM)]$	TM = 58.81      NM = 5
-----------------------------	------------------------

Eficiencia =	25.51%
--------------	--------

Al analizar estos resultados vemos que el tiempo de operación más elevado es para la soldadura y la grasa, por este motivo son las actividades susceptibles a ser eliminadas o bien tratar de reducir sus tiempos, por ello en el número mínimo de partes aparece con un cero, sin eliminar sus tiempos de operación. De esta forma la eficiencia que se obtiene es la que tiene el proceso actualmente.

### Áreas de oportunidad

Al analizar los resultados de las tablas para los diferentes escenarios (*Apéndice 1*), determinamos que se pueden realizar cambios en la soldadura y el engrasado; independientemente de los tiempos elevados, si observamos el escenario 3, al quitar la soldadura y el engrasado la eficiencia se eleva a más del doble de la eficiencia actual.

Por lo tanto determinamos que los principales cambios que pueden ser realizados son los referentes a:

1. Conexiones a Batería.
2. Aplicación de Grasa.
3. Estaciones de proceso para eliminar la soldadura
4. Estaciones de proceso para facilitar la aplicación de grasa.

### Aplicación de grasa.

El primer paso fue verificar si la grasa se puede omitir o no del funcionamiento del cepillo.

Se diseñó un dispositivo para simular la función de apagado / encendido de manera cíclica. Se aplicó una fuerza de 51 N para cambiar la posición del interruptor mediante pistones neumáticos. Se realizaron mediciones cada 1000 ciclos, hasta completar 10 000 ciclos, que es la vida útil estimada del interruptor. En la *figura 3.4*, se muestra el dispositivo que fue diseñado para tal efecto.



Figura 3.4  
Prueba de desgaste en interruptor

Las pruebas arrojaron los resultados mostrados en la *figura 3.5*, luego se tomaron medidas mediante el comparador óptico.

	Valor original	1000 ciclos	2000 ciclos	5000 ciclos	10000 ciclos
<b>Con grasa</b>					
<b>A</b>	0.0185	0.0185	0.0185	0.0185	0.0185
<b>Masa (gr)</b>	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
<b>Sin grasa</b>					
<b>A</b>	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018
<b>Masa (gr)</b>	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54

Las medidas fueron tomadas por medio de un calibrador digital y corroboradas por medio de un comparador óptico.

Figura 3.5  
Resultados de Prueba

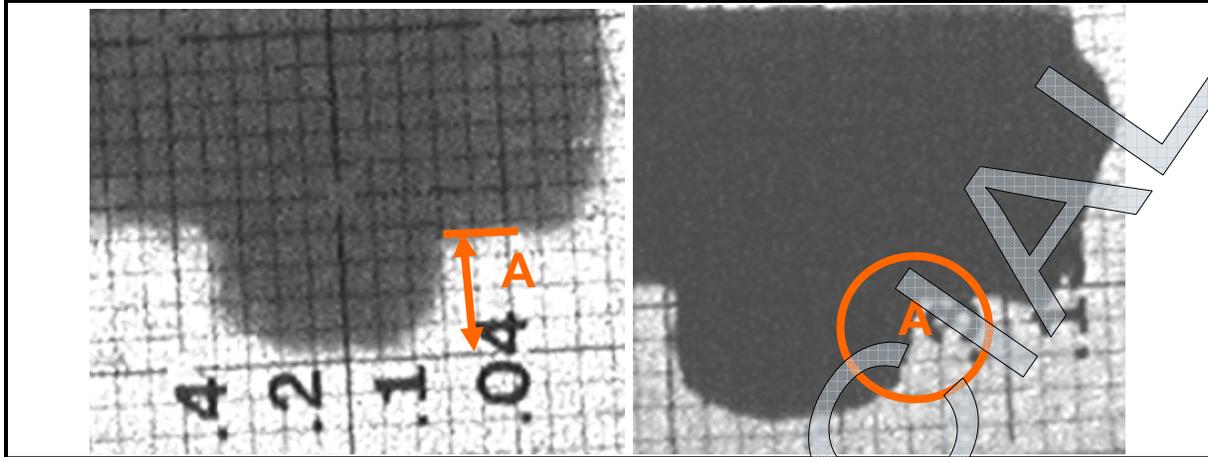


Figura 3.6 Sin Grasa a 10x

Figura 3.7 Con Grasa a 10x

Como se puede observar en estos dos casos (figuras 3.6 y 3.7), el desgaste A es mínimo. Según el comparador óptico no se presenta desgaste A de importancia, lo que sigue ahora es determinar la fuerza aplicada a cada uno de éstos. Por estas razones se consideró eliminar el proceso de engrasado.

Por parte de la empresa se realizó una prueba semejante, obteniéndose los mismos resultados, sólo que en este caso también se verificaron los bordes del chasis, donde se encontró que sí había desgaste.

La conclusión a este efecto fue que el engrasado en esa parte era necesario, y que se debía minimizar el tiempo de engrasado así como evitar el desperdicio de los recursos.

### Costos

Para el costo de la mano de obra utilizado en esta sección usamos los valores de la figura 1.6, con ellos obtuvimos el costo total unitario del ensamble de un cepillo eléctrico, haciendo la conversión del costo a segundos, así como también el costo total del proceso en cuanto a la mano de obra, considerando las partes que se manejan en cada actividad.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:



## APLICACIÓN PRÁCTICA



Actividad	Tiempo unitario [S]	Tiempo unitario acumulado [S]	Tiempo por actividad [S/parte]	Tiempo por actividad acumulado [S/parte]	*Costo por segundo [\$]	**Costo unitario [\$/S]	Costo por actividad [\$/S]
Ensamble de motor y excéntrico	4.32	4.32	17.28	17.28	0.000408	0.001764	0.007056
Ensamble de terminales	3.12	7.44	18.72	36	0.000408	0.001274	0.007644
Soldadura	5.58	13.02	33.48	69.48	0.000408	0.002279	0.013671
Engrasado	4.32	17.34	25.92	95.4	0.000408	0.001764	0.010584
Ensamble de interruptor	3.12	20.46	3.12	98.52	0.000408	0.001274	0.001274
Ensamble de sello de goma y flecha	4.32	24.78	4.32	102.84	0.000408	0.001764	0.001764
Ensamble de batería, aro de goma y carcasa	3.12	27.9	3.12	105.96	0.000408	0.001274	0.001274
Ensamble de cabeza del cepillo y protector	3.12	31.02	3.12	109.08	0.000408	0.001274	0.001274
Pruebas	4.32	35.34	21.6	130.68	0.000408	0.001764	0.008820
*El costo promedio por hora es de \$1.47 tomado de la figura 1.6 Costo de la mano de Obra en distintos países. Fuente Ministerio de Economía de México, año 2004. **Cantidades en dólares.					Costo total	<b>0.014431</b>	<b>0.053361</b>

Figura 3.8  
Costo unitario de mano de obra por cepillo.



## **Análisis de resultados**

Al analizar y comparar los resultados presentados en la tabla anterior, observamos que las actividades que elevan el costo de mano de obra son la soldadura y el engrasado, esto resulta bastante lógico pues son las que consumen los mayores tiempos del proceso de ensamble. Recordemos que la soldadura se aplica en dos puntos y la grasa en tres.

Los tiempos de estas dos actividades los podemos reducir o bien seguir consumiendo el mismo tiempo, incluyendo una estación de engrasado y una de soldadura, en donde se lleven a cabo estas actividades en una sola aplicación siguiendo el orden del proceso de ensamble primero soldadura y luego engrasado.

En la tabla tenemos el costo total de mano de obra unitario, esto es si se ensamblara desde el inicio un solo cepillo, y el costo total en donde se realizan varios subensambles. Comparando estos resultados vemos que de incluir las estaciones los costos se reducen casi cuatro veces, esto porque se tomarían los tiempos como si fuera un solo cepillo, pero en realidad se estaría teniendo un rack de seis, así bajarían los costos de operación y aumentaría la producción.

## **Áreas de oportunidad**

La empresa decidió, luego del estudio de Tiempos y Movimientos, del Análisis de Boothroyd y del estudio de costo de mano de obra que se resuelva el problema de engrasado, porque es en éste donde se presentan los mayores tiempos y se forma un cuello de botella.

Se decidió abordar el problema de la grasa, porque aquí no se tendrían que modificar el diseño de las partes que conforman el cepillo. Pues es casi imposible hacer alguna modificación a sus planos de diseño, ya que esto llevaría mucho tiempo porque se tendría que presentar la propuesta y ésta ser aprobada por la planta matriz, recordemos que es una empresa transnacional, y la producción se tiene que aumentar lo más pronto posible, para que pueda seguir esta producción en nuestro país.

Esta decisión también se basa en la idea de mantener algunas de las condiciones actuales de la empresa, como son: la plantilla laboral, el área de trabajo y el equipo utilizado actualmente en esta parte del proceso, con el objetivo de reducir los costos de la estación.

En este trabajo analizaremos el problema de engrasado, generando alternativas que puedan solucionar dicho problema, empleando para ello estudios, métodos y técnicas con el fin de evaluar las diferentes alternativas de solución tanto técnica como económicamente, y así tener finalmente la mejor alternativa que cubra las necesidades del proceso y del cliente.



## APLICACIÓN PRÁCTICA

---



La estación tiene como principal objetivo reducir el tiempo total de ensamble, por lo tanto en este trabajo se pretende que este tiempo se disminuya al máximo, esto es que el tiempo de engrasado sea el mismo pero que la producción se eleve lo más posible, para lograrlo el número mínimo de ensambles luego de esta actividad debe ser de seis, con el mismo tiempo que se tiene actualmente para el engrasado de un solo ensamble.



## Capítulo 4 DISEÑO CONCEPTUAL

### *Métodos de diseño*

Los métodos de diseño son todos y cada uno de los procedimientos, técnicas, ayudas o “herramientas” para diseñar. Representan un número de clases distintas de actividades que el diseñador utiliza y combina en un proceso general de diseño. Aunque algunos de los métodos de diseño pueden ser los procedimientos convencionales y normales de diseño, como el dibujo, en años recientes se nota un crecimiento sustancial de nuevos procedimientos no convencionales que se agrupan de manera más general bajo el rubro de “métodos de diseño”. (Cross, 1999)

El cuerpo general de los métodos de diseño puede clasificarse en dos grandes grupos: métodos creativos y métodos racionales.

### **Métodos creativos**

Existen varios métodos de diseño que ayudan a estimular el pensamiento creativo. En general, tratan de incrementar el flujo de ideas, eliminando los bloqueos mentales que inhiben la creatividad, o ampliando el área en la cual se buscan las soluciones.

### *Lluvia de ideas*

El método creativo más ampliamente conocido es la lluvia de ideas. Es un método para generar un gran número de ideas, la mayoría de las cuales se descartarán posteriormente, pero en donde tal vez se identifiquen unas cuantas ideas novedosas a las cuales vale la pena darles seguimiento. Normalmente se conduce en una sesión de un grupo de cuatro a ocho personas.

La intervención en una sesión de lluvia de ideas es como participar en un juego de una fiesta; y al igual que un juego de este tipo, sólo funciona bien cuando todo mundo se apega a las reglas. De hecho, todos los métodos de diseño funcionan mejor sólo cuando se siguen con cierto rigor, y no de una manera descuidada o indiferente. Las reglas esenciales de la lluvia de ideas son:

- No se permiten críticas durante la sesión
- Se busca tener una gran cantidad de ideas
- Las ideas aparentemente locas son bienvenidas
- Todas las ideas deben presentarse en forma breve y vivaz
- Tratar de mejorar y combinar las ideas de otros

Nuestro equipo de trabajo al realizar esta actividad, propuso diversas soluciones para el problema en cuestión, mismas que se enumeran a continuación:

1. una estación completamente automatizada
2. suprimir la grasa



3. aumentar el número de personas que realizan el proceso de engrasado
4. aplicar la grasa en los tres puntos requeridos al mismo tiempo
5. aplicar la grasa en los 18 puntos requeridos al mismo tiempo
6. modificar el diseño del cepillo para que el interruptor no sea una pieza independiente
7. que incluya un mecanismo de posicionamiento mecánico
8. que incluya un mecanismo de posicionamiento neumático
9. que tenga sensores ópticos
10. que se accione con la mano
11. que se accione con el pie
12. tenga forma de carrusel
13. incluya una banda transportadora
14. aplicar la grasa por medio de espreas
15. aplicar la grasa con agujas
16. que el engrasado sea continuo y no en grupos de cepillos
17. un robot aplique la grasa
18. el operador aplique la grasa con ayuda de una plantilla
19. sea robusta
20. fácil de operar
21. fabricarla de aluminio
22. que sea transportable
23. que sea estética

Muchas de estas propuestas se realizaron sin tener un conocimiento profundo de lo que el cliente quería, a nosotros se nos planteó el problema de diseñar una estación de engrasado e imaginar cada uno de sus componentes. Es obvio que al conocer los requerimientos del cliente, muchas de estas ideas fueron descartadas.

### Métodos con marco de referencia lógico

Los métodos con marco de referencia lógico que motivan a un enfoque sistemático en el diseño se conocen comúnmente como “métodos de diseño”, a diferencia de las técnicas creativas. No obstante, estos métodos tienen objetivos similares a los de los métodos creativos, como ampliar el espacio de búsqueda de soluciones potenciales o facilitar el trabajo en equipo y la toma de decisiones en grupo. En consecuencia, no es necesariamente cierto que dichos métodos sean en cierta forma algo totalmente opuesto a los métodos creativos.

Muchos diseñadores ven con sospecha a estos métodos, temiendo que sean una “camisa de fuerza” o que asfixien la creatividad. Este es un malentendido de la intención del diseño sistemático, el cual pretende mejorar la calidad de las decisiones de diseño y, en consecuencia, del producto final. Los métodos creativos y los métodos con marco de referencia lógico son aspectos complementarios de un enfoque sistemático hacia el diseño. Más que una “camisa de fuerza”, es un “chaleco salvavidas” que le ayuda al diseñador a mantenerse a flote. (Cross, 1999)



Tal vez el tipo más sencillo de método con marco de referencia lógico es la lista de verificación (checklist). Todo mundo utiliza este método en la vida diaria – por ejemplo, en la forma de una lista de compras, o una lista de las cosas que uno debe recordar hacer-. La lista exterioriza lo que se tiene que hacer, de manera que no sea necesario recordar todo mentalmente y para que no pase por alto alguna cosa. La lista formaliza el proceso haciendo un registro de puntos, los cuales pueden tacharse a medida que se recopilan o se logran, hasta que todo esté completo. Las listas también permiten el trabajo en equipo o la participación de un grupo más amplio; por ejemplo, toda la familia puede hacer sugerencias para la lista de compras. También permiten la subdivisión de la tarea (es decir, mejorar la eficiencia del proceso), como la asignación de distintas secciones de la lista a diferentes miembros del equipo. En estos sentidos, la lista es un modelo para la mayoría de los modelos de diseño con marco de referencia lógico. En términos de diseño, una lista de verificación puede ser una lista de preguntas que deben hacerse en las primeras etapas del diseño, una lista de características que deben incorporarse en el diseño, o una lista de criterios, normas, etc., que debe satisfacer el diseño final.

Nosotros para aplicar la lista de verificación utilizamos un formato general para el diseño en ingeniería. Después de algunas entrevistas con el cliente y reuniones del equipo de trabajo, la lista de verificación fue tomando forma (*figura 4.1*) y nos sirvió como base para los métodos de diseño posteriores.

Como se puede ver, son bastantes los requerimientos que debe cumplir la estación de engrasado, sin embargo, algunos de ellos pueden combinarse para que cumplan un objetivo determinado (como se verá mas adelante), y otros se engloban dentro de categorías más generales como pueden ser las normas que abarcan desde ergonomía hasta cuestiones de seguridad y medio ambiente.



## DISEÑO CONCEPTUAL



ESTACIÓN DE ENGRASADO						
GEOMETRÍA	Tamaño	<input checked="" type="checkbox"/>	SEGURIDAD	Normas	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Altura	<input checked="" type="checkbox"/>		Reglamentos	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Tolerancias	<input type="checkbox"/>		Medio ambiente	<input checked="" type="checkbox"/>	
	CINEMÁTICA	Diámetro	<input checked="" type="checkbox"/>	ERGONOMÍA	Relación hombre-máquina	<input checked="" type="checkbox"/>
		Requerimientos espaciales	<input type="checkbox"/>		Tipo de operación	<input checked="" type="checkbox"/>
		Conexiones	<input type="checkbox"/>	PRODUCCIÓN	Iluminación	<input type="checkbox"/>
		Extensiones	<input type="checkbox"/>		Limitaciones de la planta	<input type="checkbox"/>
		Arreglo	<input checked="" type="checkbox"/>		Métodos de producción	<input checked="" type="checkbox"/>
	Número	<input checked="" type="checkbox"/>	Dimensiones máximas		<input type="checkbox"/>	
Tipo de movimiento	<input checked="" type="checkbox"/>	Medios de producción	<input checked="" type="checkbox"/>			
FUERZAS	Dirección	<input type="checkbox"/>	CONTROL DE CALIDAD	Desperdicio	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Magnitud	<input checked="" type="checkbox"/>		Calidad	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Frecuencia	<input type="checkbox"/>	ENSAMBLE	Tolerancias	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Deformaciones	<input type="checkbox"/>		Pruebas y mediciones	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Elasticidad	<input type="checkbox"/>		Estándares y regulaciones	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Resonancia	<input type="checkbox"/>	TRANSPORTE	Regulaciones especiales	<input type="checkbox"/>	
	Carga	<input type="checkbox"/>		Instalación	<input checked="" type="checkbox"/>	
Peso	<input type="checkbox"/>	Bases		<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>	Medios de transporte		<input type="checkbox"/>		
ENERGÍA		<input type="checkbox"/>	OPERACIÓN	Limitantes por peso o espacio	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Eficiencia	<input type="checkbox"/>		Condiciones de despacho	<input type="checkbox"/>	
	Pérdidas	<input type="checkbox"/>		Silenciosa	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Fricción	<input type="checkbox"/>	MANTENIMIENTO	Condiciones ambientales	<input type="checkbox"/>	
	Ventilación	<input type="checkbox"/>		Usos especiales	<input type="checkbox"/>	
	Presión	<input checked="" type="checkbox"/>		Intervalos de servicio	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Temperatura	<input checked="" type="checkbox"/>		Inspección	<input type="checkbox"/>	
	Calor	<input type="checkbox"/>		Cambio y reparación	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Enfriamiento	<input type="checkbox"/>	COSTOS	Limpieza	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Conversión	<input type="checkbox"/>		Máximos costos de manufactura permisibles	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Almacenamiento	<input type="checkbox"/>		Costos de herramental	<input type="checkbox"/>	
	Capacidad	<input type="checkbox"/>		Inversión y depreciación	<input checked="" type="checkbox"/>	
Salida	<input checked="" type="checkbox"/>					
Entrada	<input checked="" type="checkbox"/>					
MATERIAL	Flujo y transporte de materiales	<input checked="" type="checkbox"/>				
	Propiedades físicas y química	<input checked="" type="checkbox"/>				
SEÑALES	Entradas	<input checked="" type="checkbox"/>				
	Salidas	<input checked="" type="checkbox"/>				
	Equipo de control	<input checked="" type="checkbox"/>				
	Forma	<input type="checkbox"/>				
	Despliegue	<input checked="" type="checkbox"/>				

Figura 4.1 Lista de Verificación para la Estación de Engrasado



Existe una amplia gama de este tipo de métodos de diseño que cubre todos los aspectos del proceso de diseño, desde la clarificación del problema hasta el diseño de detalles. La selección de los métodos utilizados en el presente trabajo (*figura 4.2*), son los que se consideran más adecuados por su claridad y fácil procedimiento. (Cross, 1999)

<b>Eta</b> pa en el proceso de diseño	<b>Método elegido para esta etapa</b>	<b>Finalidad</b>
Clarificación de objetivos	Árbol de objetivos	Clarificar los objetivos de diseño y los subobjetivos, así como las relaciones entre ellos.
Establecimientos de funciones	Análisis de funciones	Establecer las funciones requeridas y los límites del sistema de un nuevo diseño.
Fijación de requerimientos	Especificación del rendimiento	Hacer una especificación exacta del rendimiento requerido en una solución de diseño.
Determinación de características	Despliegue de la función de calidad	Fijar las metas a alcanzar de las características de ingeniería de un producto, de manera que satisfagan los requerimientos del cliente.
Generación de alternativas	Diagrama morfológico	Generar la gama completa de soluciones alternativas de diseño de un producto y, por lo tanto, ampliar la búsqueda de nuevas soluciones potenciales.
Evaluación de alternativas	Objetivos ponderados	Comparar los valores de utilidad de las propuestas alternativas de diseño, con base en la comparación del rendimiento contra los objetivos diferencialmente ponderados.

Figura 4.2

Modelo de Diseño Propuesto para la Estación de Engrasado

En los siguientes párrafos, cada uno de los siete métodos incluidos en el modelo de diseño se presenta bajo la forma de un procedimiento paso a paso, seguido por la aplicación particular a nuestra estación de engrasado.

### ***Clarificación de objetivos***

Cuando un cliente, un patrocinador o un gerente de una compañía se acerca por primera vez a un diseñador para exponer la necesidad de contar con un producto, es poco probable que tal necesidad sea expresada con toda claridad. El cliente quizás sólo conoce el tipo de producto que desea y tiene muy poca idea de los detalles, o de las variantes que podrían ser posibles. O bien, la descripción de la necesidad podría ser aún más vaga: simplemente un "problema" que necesita una solución. (Cross, 1999)



Por lo tanto, el punto inicial de un diseño es casi siempre un problema mal definido, o un requerimiento relativamente vago. Sería bastante raro que a un diseñador se le hiciera un planteamiento completo y claro de lo que debe satisfacer el objeto a diseñar.

En consecuencia, un importante primer paso en el diseño es tratar de clarificar los objetivos del diseño. De hecho, en todas las etapas es muy útil buscar alcanzar un fin. Dicho fin es el conjunto de objetivos que la pieza diseñada debe satisfacer, aún cuando dichos objetivos puedan cambiar a medida que avanza el trabajo de diseño. Los objetivos iniciales e intermedios pueden cambiar, expandirse o contraerse, o verse alterados completamente a medida que el problema se entiende mejor y se desarrollan ideas de solución.

Así, es muy probable que tanto los "fines" como los "medios" cambien durante el proceso de diseño. Sin embargo, como un auxiliar para controlar y manejar el proceso de diseño, es importante tener en todo momento un planteamiento de objetivos tan claro como sea posible. Este planteamiento deberá estar en una forma que se entienda fácilmente y acorde con lo que pretende lograr el cliente y el diseñador, o los diversos miembros del equipo de diseño.

### Árbol de objetivos

El método del árbol de objetivos ofrece un formato claro y útil para el planteamiento. Muestra los objetivos y los medios generales para alcanzarlos; mediante un diagrama se pueden ver las formas en que los diferentes objetivos se relacionan entre ellos, con el patrón jerárquico de los objetivos y con los objetivos secundarios. El procedimiento para llegar a un árbol de objetivos ayuda a clarificar los objetivos y a que se llegue a un acuerdo entre el cliente, el gerente y los miembros del equipo de diseño.

### *Procedimiento*

1. *Preparar una lista de objetivos de diseño.* Éstos se toman del planteamiento del diseño, a partir de preguntas al cliente y de una reunión con el equipo de diseño.

La propuesta del cliente para la estación de engrasado es que el dispositivo a diseñar sea una *estación de engrasado productiva, confiable y sencilla, tanto en su operación como en su mantenimiento.*

Al profundizar en los aspectos arriba mencionados, se decidió ampliar este deseo del cliente y desglosarlo en los objetivos que según el equipo de diseño satisfacen las demandas.

Por lo tanto, nuestra propuesta de objetivos es:

- La estación debe ser productiva, confiable y sencilla
- Debe ser fácil de producir
- Debe presentar una operación confiable
- Debe tener buenas características de operación



- Que evite el desperdicio de grasa
  - Facilidad de manejo
  - Aplicación simultánea en varios cepillos
  - Ajustes realizables en el área de trabajo
  - Producción sencilla de componentes
  - Debe ofrecer alta productividad
  - Número pequeño de componentes
  - Poca complejidad de los componentes
  - Muchas piezas estandarizadas y compradas
  - Sea adecuada a los suministros actuales de energía
  - Buena aplicación de la cantidad de grasa
  - Que utilice los equipos existentes en la planta
  - Aplicación en puntos múltiples del cepillo
  - Que su ensamble sea sencillo
  - Pocos errores posibles del operador
  - Facilidad de mantenimiento
  - No presente un calentamiento excesivo
  - Operada por una sola persona
  - Que sea ligera
  - Lectura rápida de los sistemas de medición
2. *Ordenar la lista en conjuntos de objetivos de mayor y menor nivel.* Los objetivos principales y los objetivos secundarios de la lista ampliada se agrupan aproximadamente en niveles jerárquicos.

El ordenamiento que realizamos presenta los siguientes niveles jerárquicos:

- ❖ Estación de engrasado productiva, confiable y sencilla
  - Operación confiable
    - Buena aplicación de la cantidad de grasa
      - Evite el desperdicio
    - Evite el calentamiento excesivo
    - Adecuada a los suministros actuales de energía
  - Alta productividad
    - Aplicación en puntos múltiples del cepillo
    - Aplicación simultánea en varios cepillos
  - Producción sencilla
    - Incluya los equipos existentes en la planta
    - Producción sencilla de componentes
      - Número pequeño de componentes
      - Poca complejidad de los componentes
      - Muchas piezas estandarizadas y compradas
    - Ensamble sencillo
  - Buenas características de operación
    - Facilidad de mantenimiento



- Ajustes realizables en el área de trabajo
  - Facilidad de manejo
    - Operada por una sola persona
    - Lectura rápida de los sistemas de medición
    - Ligera
    - Pocos errores posibles del operador
3. *Dibujar un diagrama de árbol de objetivos que muestre las relaciones jerárquicas e interconexiones.* Las ramas (o raíces) del árbol representan las relaciones que sugieren medios para alcanzar objetivos.

Como punto final de este procedimiento, generamos el árbol de objetivos para la estación de engrasado y que es la base para establecer las funciones en el siguiente paso de este método de diseño.

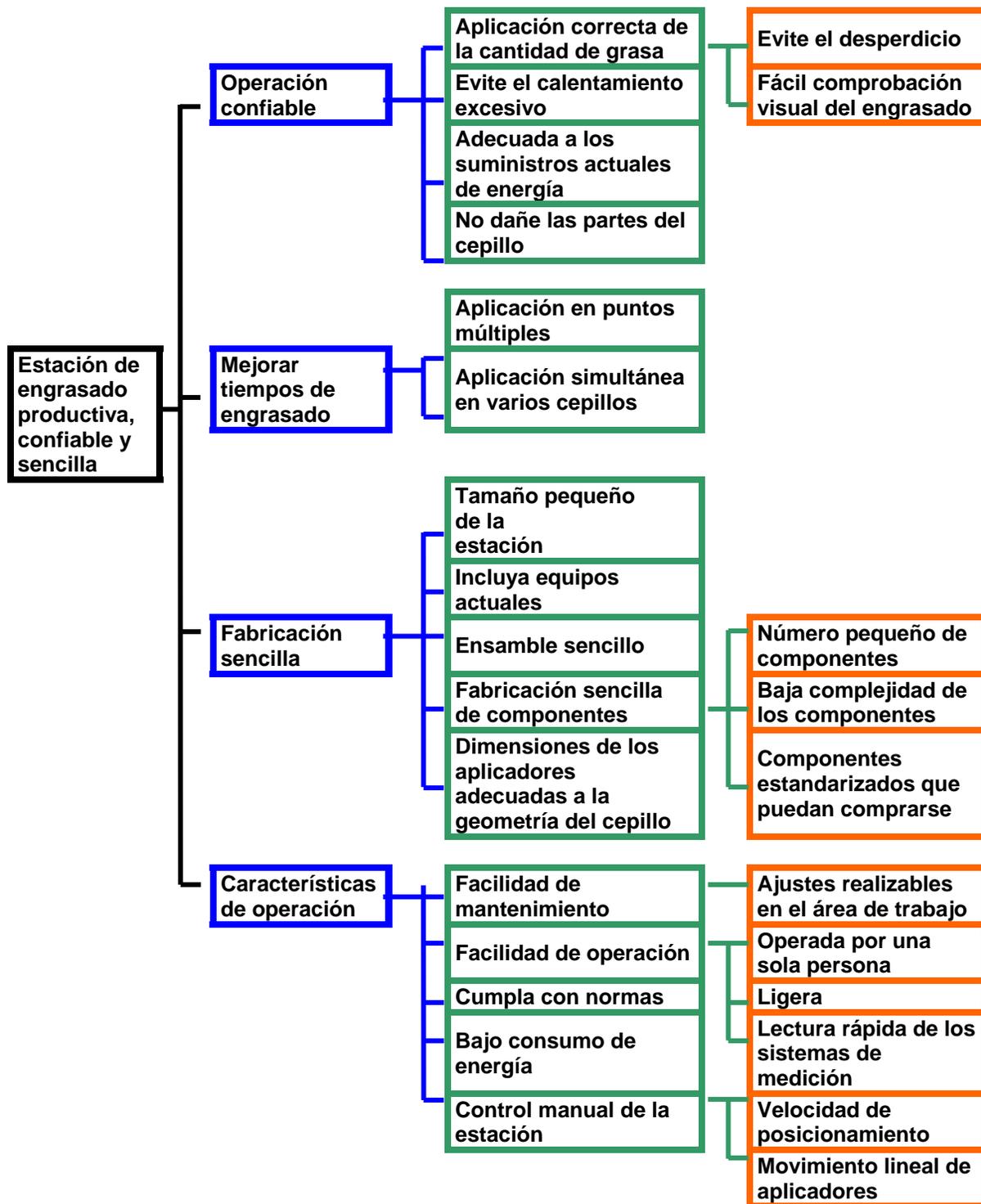


Figura 4.3  
Árbol de objetivos para la estación de engrasado



## *Establecimiento de funciones*

En el método del árbol de objetivos vimos que los problemas de diseño pueden tener muchos niveles de generalidad o detalle. Obviamente, es crucial el nivel de definición del problema por parte del diseñador o del interesado. Hay una gran diferencia entre diseñar un aparato telefónico y diseñar un sistema de telecomunicaciones. (Cross, 1999)

No obstante, hay ocasiones en que es conveniente cuestionar el nivel en el cual se plantea el problema de diseño. Un cliente puede estar enfocando de manera muy restringida la definición del problema en un nivel, cuando sería mejor buscar la solución en otro nivel. Reconsiderar el nivel de la definición del problema es un estímulo para que el diseñador proponga soluciones radicales e innovadoras.

Por lo tanto, conviene contar con un medio para considerar el nivel del problema en el que va a trabajar un diseñador o un equipo de diseño. También es muy útil si esto puede hacerse en una forma que no considere el tipo de solución potencial, sino las funciones esenciales que un tipo de solución debe satisfacer. Esto le da libertad al diseñador para desarrollar propuestas de solución alternativas que satisfagan los requerimientos funcionales.

## **Análisis de Funciones**

El método de "análisis de funciones" ofrece un medio para considerar las funciones esenciales y el nivel en el que el problema debe abordarse. Las funciones esenciales son aquellas que debe satisfacer el dispositivo, el producto o el sistema a diseñar, independientemente de los componentes físicos que pudieran utilizarse. El nivel del problema se decide estableciendo "límites" alrededor de un subconjunto coherente de funciones.

### *Procedimiento*

1. *Expresar la función global del diseño en términos de la conversión de entradas en salidas.* El punto de partida en este método consiste en concentrarse en lo que el nuevo diseño debe lograr y no en cómo se va a lograr. La forma básica más sencilla de expresar esto consiste en representar el producto o dispositivo a diseñar en una forma tan simple como una "caja negra" que convierte ciertas "entradas" en "salidas" deseadas. La "caja negra" contiene todas las funciones que son necesarias para convertir las entradas en las salidas (figura 4.4).



Figura 4.4  
Modelo de sistemas de la "caja negra"

Al principio es preferible tratar de hacer esta función global tan amplia como sea posible -posteriormente puede reducirse si es necesario-. Sería incorrecto comenzar con una función general innecesariamente limitada que restrinja la gama de soluciones posibles. En esta etapa del proceso de diseño el diseñador puede hacer una contribución clara solicitando a los clientes o a los usuarios definiciones del propósito fundamental del producto o dispositivo y preguntando acerca de las entradas y las salidas requeridas -¿de dónde vienen las entradas?, ¿para qué son las salidas?, ¿cuál es la siguiente etapa de conversión?, etc.-.

Esta clase de cuestionamientos se conoce como "ampliación de los límites del sistema". Los "límites del sistema" son los límites conceptuales que se emplean para definir la función del producto o del dispositivo. Estos límites casi siempre se definen de manera muy reducida, con el resultado de que sólo se pueden hacer cambios menores, en vez de generar una reconsideración radical.

Es importante tratar de asegurar que se anoten todas las entradas y salidas relevantes. Todas ellas, por lo general, se pueden clasificar como flujos ya sea de materiales, energía o información, y estas mismas clasificaciones pueden utilizarse para verificar si se ha omitido algún tipo de entrada o de salida.

Para nuestro caso, consideramos sólo la entrada de material, representada por el grupo de seis cepillos (rack), la función que debe realizar la estación para lograr el estado deseado es que cada cepillo esté correctamente engrasado en los puntos necesarios (*figura 4.5*). Al avanzar en este procedimiento, se agregarán nuevas entradas necesarias para que las subfunciones puedan realizarse adecuadamente.

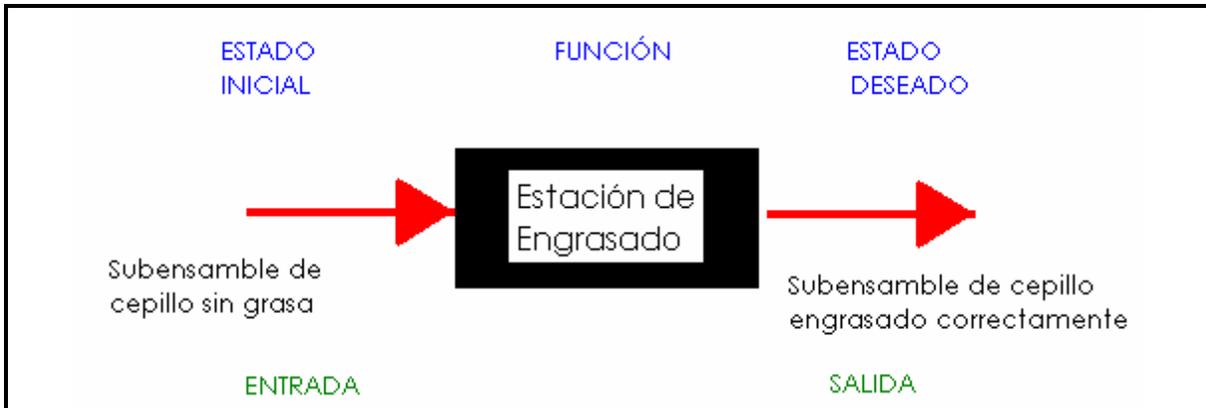


Figura 4.5  
Modelo de caja negra para la Estación de Engrasado

2. *Descomponer la función global en un conjunto de funciones secundarias esenciales.* La conversión del conjunto de entradas en un conjunto de salidas es una tarea compleja dentro de la "caja negra", por lo que es necesario descomponerla en tareas o funciones secundarias. En realidad, no existe una forma objetiva y sistemática para esto: el análisis en funciones secundarias puede depender de factores tales como las clases de componentes disponibles para las tareas específicas, la asignación necesaria o preferida de las funciones a las máquinas o a los operadores humanos, la experiencia del diseñador, etc.

Cuando se especifican las funciones secundarias, conviene asegurarse de que todas ellas se expresen de la misma manera. Cada una deberá plantearse con un verbo y un sustantivo -por ejemplo, "amplificar señal", "contar artículos", "separar el desperdicio", "reducir el volumen-.

Como cada función secundaria tiene sus propias entradas y salidas, debe verificarse la compatibilidad de las mismas. También puede haber "funciones secundarias auxiliares" que deban agregarse, pero que no contribuyan directamente a la función general, como "eliminar el desperdicio".

Dentro de la caja negra que generamos debe haber un proceso que engrase los cepillos, y las funciones secundarias que consideramos necesarias para tal efecto aparecen en la *figura 4.6*:

Funciones Secundarias
1. Posicionar rack
2. Acercar aplicadores
3. Posicionar aplicadores
4. Dosificar grasa
5. Aplicar grasa
6. Retirar aplicadores
7. Quitar rack

Figura 4.6

Funciones Secundarias para la estación de engrasado

3. Dibujar un diagrama de bloques que muestre las interacciones entre las funciones secundarias. Un diagrama de bloques se compone de todas las funciones secundarias, que se identifican por separado encerrándolas en cuadros y enlazándolas mediante sus entradas y salidas, de tal manera que satisfagan la función general del producto o el dispositivo que está siendo diseñado. En otras palabras, la "caja negra" original de la función general se vuelve a dibujar como una "caja transparente" en la que puedan verse las funciones secundarias necesarias y sus enlaces (figura 4.7).

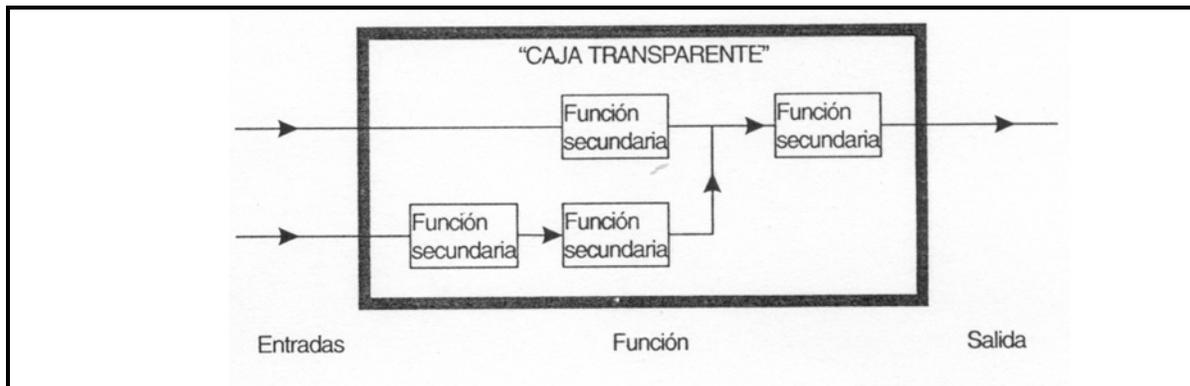


Figura 4.7

Modelo de la caja transparente

El dibujo de este diagrama sirve para decidir la forma en que se enlazan las entradas y las salidas de las funciones secundarias, de manera que conformen un sistema factible y funcional. Se puede descubrir que se tiene que hacer malabares con las entradas y salidas, y que quizás algunas de las funciones secundarias deban redefinirse de manera que todo quede conectado. Es útil emplear diferentes convenciones, como diferentes tipos de líneas, por ejemplo, para mostrar los diferentes tipos de entradas y salidas, es decir, flujos de materiales, energía o información.

Por lo tanto, después de identificar las funciones secundarias es necesario agregar nuevas entradas para la función de "dosificar grasa", porque para que ésta pueda efectuarse se le debe suministrar energía, materia, que será la grasa y una señal que active su funcionamiento.

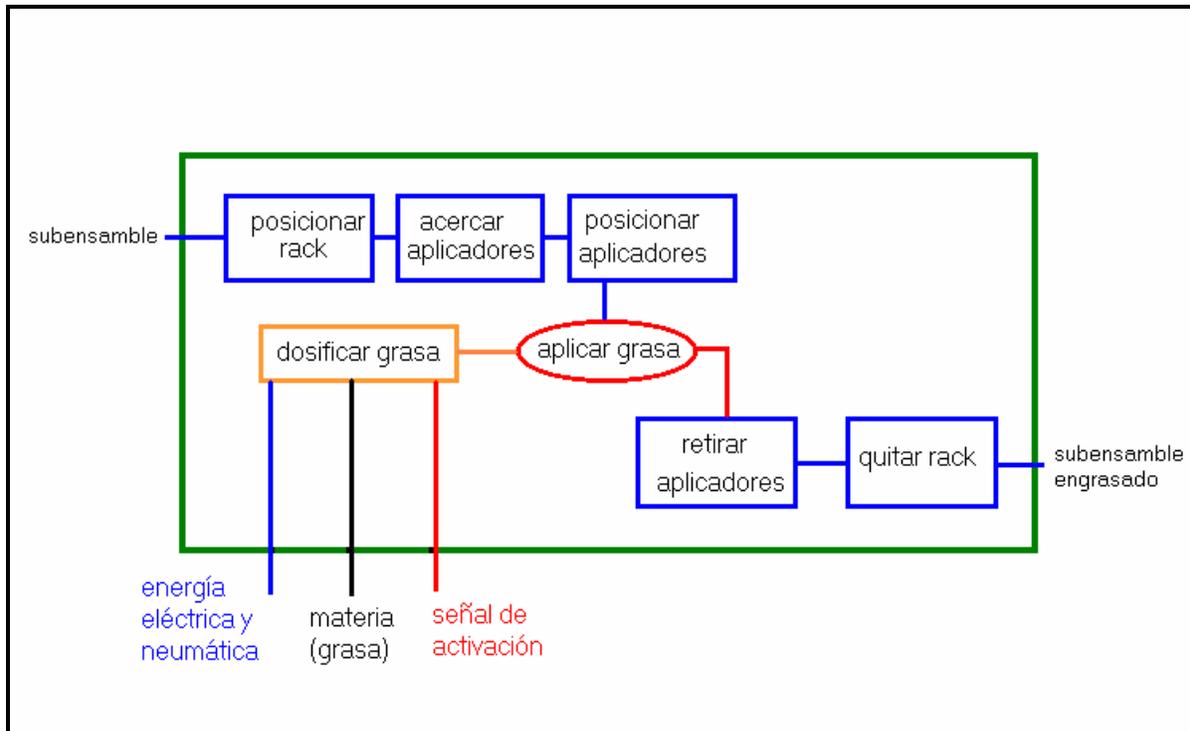


Figura 4.8  
Análisis de funciones para la Estación de engrasado

El análisis de funciones para la estación de engrasado nos permite proponer algunos elementos que podrían cumplir con cada una de las funciones; sin embargo, éstas deberán anotarse para utilizarlas en el método morfológico que se realizará posteriormente.

4. *Dibujar los límites del sistema.* El diagrama de bloques dibujado también debe mostrar las decisiones tomadas acerca de la extensión precisa y la ubicación de los límites del sistema. Por ejemplo, en el diagrama no puede haber entradas o salidas “sueltas”, excepto aquéllas que provienen de los límites del sistema o van hacia afuera.

Podría resultar que los límites tengan que reducirse nuevamente, después de la primera ampliación hecha durante la consideración de las entradas, las salidas y la función general. Los límites tienen que dibujarse en torno a un subconjunto de funciones ya identificadas a fin de definir un producto factible. También es probable que en este dibujo de los límites del sistema, el diseñador no tenga completa libertad -esto dependerá de la política gerencial o de los requerimientos del cliente. Generalmente, se pueden dibujar muchos límites diferentes del sistema, para definir diferentes productos o tipos de solución.

5. *Buscar componentes apropiados para realizar las funciones secundarias y sus interacciones.* Si las funciones secundarias se han identificado adecuadamente y en un nivel apropiado, entonces debe ser posible identificar un componente



adecuado para cada función secundaria. Esta identificación de componentes dependerá de la naturaleza del producto, del dispositivo, o del sistema que se está diseñando. Por ejemplo, un “componente” podría ser una persona que realiza cierta tarea, un componente mecánico, o un dispositivo electrónico. Una de las posibilidades interesantes de diseño que han abierto los dispositivos electrónicos, como los microprocesadores, es que éstos ahora pueden ser sustituidos por componentes que anteriormente eran dispositivos mecánicos o cuya función quizás sólo podía hacerse por operadores humanos. El método de análisis de funciones es un auxiliar útil en estas circunstancias debido a que se enfoca en las funciones, y deja para esta última etapa del proceso de diseño la selección de los medios físicos para realizar dichas funciones.

### *Fijación de requerimientos*

Los problemas de diseño siempre se plantean dentro de ciertos límites. Uno de los límites más importantes, por ejemplo, es el correspondiente al costo: lo que el cliente está preparado para gastar en una nueva máquina, o lo que puede esperarse que paguen los consumidores finales como precio de compra por un producto. Otros límites comunes pueden ser el tamaño o peso aceptable de una máquina; algunos otros serán requerimientos de rendimiento, como la potencia de un motor; algunos más podrían ser establecidos por aspectos legales o de seguridad. (Cross, 1999)

Este conjunto de requerimientos comprende la especificación del rendimiento del producto o la máquina. Los planteamientos de los objetivos de diseño o funciones (como aquéllos que se derivan del método del árbol de objetivos o del de análisis de funciones) se consideran como especificaciones de rendimiento, aunque esto en realidad no es correcto. Los objetivos y las funciones son planteamientos de lo que debe lograr o hacer un diseño, pero normalmente no se establecen en términos de límites precisos, que es lo que hace una especificación de rendimiento.

Al fijar límites acerca de lo que debe lograrse con un diseño, la especificación de rendimiento limita la gama de soluciones aceptables. En consecuencia, debido a que establece la gama de objetivos del diseñador, no deberá definirse de manera muy estrecha. Si es así, podrían eliminarse innecesariamente muchas soluciones que de otra manera serían aceptables. Por otra parte, una especificación demasiado amplia o vaga puede dejar al diseñador con muy poca idea de la dirección que debe tomar. Los límites de especificaciones establecidas de manera muy amplia también conducen a soluciones inapropiadas que tendrán que cambiarse o modificarse cuando se descubra que caen fuera de límites aceptables.

Por lo tanto, hay buenas razones para dedicar cierto esfuerzo para establecer una especificación exacta del rendimiento en los primeros momentos del proceso de diseño. Inicialmente, esta especificación fija ciertos límites al "espacio de soluciones" dentro del cual el diseñador debe buscar. Posteriormente,



en el proceso de diseño, la especificación del rendimiento puede utilizarse al evaluar las soluciones propuestas para verificar que queden dentro de límites aceptables (*figura 4.9*)



## CAPÍTULO 4



No	Clasificación	Requerimiento (el cliente desea que:)	Importancia (Condición / Deseo)	Fuente	En especificaciones (SI / NO)
1	MATERIAL	Aplicación correcta de la cantidad de grasa	C	1	SI
2	GEOMETRÍA	Aplicación en puntos múltiples	C	5	SI
3	GEOMETRÍA	Aplicación simultánea en varios cepillos	C	5	SI
4	ENERGÍA	Adecuada a los suministros actuales de energía	C	1	SI
5	GEOMETRÍA	Tamaño pequeño de la estación	D	2	SI
6	MATERIAL	No dañe las partes del cepillo	C	1	SI
7	MATERIAL	Evite el calentamiento excesivo	C	1	SI
8	PESO	Ligera	D	2	SI
9	GEOMETRÍA	Dimensiones de los aplicadores adecuadas a la geometría del cepillo	C	1	SI
10	PRODUCCIÓN	Incluya los equipos actuales	C	5	SI
11	PRODUCCIÓN	Fabricación sencilla de componentes	D	5	NO
12	CONTROL	Control manual de la estación	C	1	SI
13	OPERACIÓN	Operada por una sola persona	D	4	SI
14	PRODUCCIÓN	Evite el desperdicio	C	1, 5	SI
15	CALIDAD	Fácil comprobación visual del engrasado	C	5	SI
16	ENSAMBLE	Ensamble sencillo	D	5	NO
17	OPERACIÓN	Lectura rápida de los sistemas de medición	D	2	SI
18	NORMAS	Cumpla con normas	C	2	SI
19	CONTROL	Velocidad de posicionamiento	C	5	SI
20	CINEMÁTICA	Movimiento lineal de aplicadores	D	6	SI
21	PRODUCCIÓN	Mejorar tiempos de engrasado	C	6	NO
22	MTTO	Facilidad de mantenimiento	D	1, 5	SI
23	MTTO	Ajustes realizables en el área de trabajo	D	2	NO
24	ENERGÍA	Bajo consumo de energía	D	1	SI
25	ENSAMBLE	Número pequeño de componentes	D	5	NO
26	ENSAMBLE	Baja complejidad de componentes	D	5	NO
27	ENSAMBLE	Componentes estandarizados que puedan comprarse	C	5	NO
28	OPERACIÓN	Facilidad de operación	D	2	NO

Figura 4.9  
Requerimientos de la Estación de engrasado



## Especificación del rendimiento

El método de especificación del rendimiento pretende ayudar a definir el problema de diseño, dejando suficiente libertad para que el diseñador tenga espacio de maniobra en las formas y medios para obtener una solución de diseño satisfactoria. Una especificación define el rendimiento requerido y no el producto requerido. El método, por lo tanto, hace énfasis en el rendimiento que debe; alcanzar una solución de diseño y no en un componente físico en particular como medio para alcanzar dicho rendimiento.

### *Procedimiento*

1. *Considerar los diferentes niveles de generalidad de solución que puedan aplicarse.* Es importante que una especificación se plantee en un nivel apropiado de generalidad para el tipo de solución que se va a considerar. Una especificación en un nivel demasiado elevado de generalidad podría dar lugar a que se sugirieran soluciones inapropiadas, en tanto que un nivel demasiado bajo (una especificación muy definida) puede quitarle al diseñador casi toda la libertad para generar una gama de soluciones aceptables.

El primer paso, por lo tanto, consiste en considerar los diferentes niveles de generalidad. Una clasificación sencilla de los tipos de niveles de un producto, desde los más generales a los menos generales, podría ser:

- alternativas del producto
- tipos del producto
- características del producto

Como ejemplo para ilustrar estos niveles, suponga que el producto en cuestión es un aparato doméstico de calefacción. En el nivel más alto de generalidad, el diseñador tiene la libertad de proponer formas alternativas de calefacción de una casa, como aparatos móviles, aparatos fijos, calefacción central con radiadores, aire caliente a través de ductos, etc. Incluso puede tener la libertad de apartarse del concepto de un "aparato" y considerar formas alternativas de calefacción tales como invernaderos que capten el calor solar; o formas de retención del calor, como aislamiento. En el nivel intermedio, la libertad del diseñador sería mucho más limitada, y quizás sólo podría considerar diferentes tipos de aparatos, es decir, diferentes tipos de calefactores, como radiadores o convectores, por ejemplo, o diferentes tipos de combustible. En el nivel más bajo, el diseñador queda restringido a considerar sólo diferentes características dentro de un tipo particular de aparato, como su elemento calefactor, interruptores, carcasa, soportes, etc.

2. *Determinar el nivel de generalidad en el que se va a trabajar.* La consideración de los diferentes niveles de generalidad podría conducir a una ampliación o a una reducción de los conceptos iniciales del producto o del planteamiento del



diseño. Por lo tanto, el segundo paso del método es tomar una decisión acerca del nivel apropiado.

Normalmente, el cliente, la gerencia de la compañía, o el consumidor final deciden el nivel en el que trabajará el diseñador. Por ejemplo, en el caso de aparatos de calefacción domésticos, sólo se consideraría el mayor nivel de generalidad (“alternativas”) si un fabricante de aparatos buscara diversificar o ampliar sus actividades en otros aspectos de la calefacción doméstica. Los niveles intermedios (“tipos”) normalmente se considerarían cuando se fuera a diseñar un nuevo producto, para agregarlo a la gama existente de aparatos o para sustituir los obsoletos. El nivel más bajo (“características”) se consideraría cuando se hicieran modificaciones a productos existentes.

Entre mayor sea el nivel de generalidad que pueda considerarse, mayor será la libertad del diseñador en términos de la gama de soluciones aceptables. Por supuesto, los niveles mayores también incluyen a los niveles inferiores de especificación -es decir, la especificación de características es parte de la especificación de los tipos, la cual es parte de la especificación de alternativas-.

3. *Identificar los atributos de rendimiento requeridos.* Una vez que se ha decidido el nivel en el cual va a efectuar el diseño, empieza el trabajo sobre la especificación apropiada del rendimiento. Cualquier producto o máquina tendrá un conjunto de atributos, y éstos serán los que se planteen en la especificación del rendimiento. Entre los atributos se incluyen comodidad, portabilidad y durabilidad, así como características claves, como son velocidad, costo y seguridad.

Los atributos del rendimiento generalmente son similares a los objetivos y funciones del diseño, o se derivan de ellos. Por lo tanto, si ya se preparó un árbol de objetivos o un análisis de funciones, éstos probablemente serán la fuente de la lista inicial de atributos de rendimiento.

Un aspecto de suma importancia que debe tenerse en mente al hacer la lista de los atributos de rendimiento es que éstos deben plantearse en una forma que sea independiente de cualquier solución particular. Los planteamientos que los clientes hacen de los atributos casi siempre están expresados en términos de soluciones, debido a que valoran algún aspecto del rendimiento que está incorporado en la solución, pero no han separado al atributo de una forma física particular. Dichos planteamientos, basados preferentemente en la solución y no en el rendimiento, por lo general restringen de manera innecesaria los conceptos de solución.

La lista final de atributos del rendimiento contiene todas las condiciones que deberá satisfacer una propuesta de diseño. Sin embargo, dentro de esta lista podría ser necesario distinguir entre los atributos o requerimientos que son “demandas” y los que son “deseos”. Las “demandas” son requerimientos que



deben satisfacerse, en tanto que los “deseos” son aquellos que el cliente o el diseñador desearía satisfacer en caso de ser posible.

4. *Establecer requerimientos de rendimiento breves y precisos para cada atributo.* Una vez que se ha compilado una lista confiable de atributos, para cada uno se escribe una especificación de rendimiento. Una especificación dice lo que debe hacer un producto, no lo que debe ser. Como ya se mencionó, esto muy bien podría requerir alguna investigación cuidadosa -no es adecuado adivinar simplemente requerimientos de rendimiento, ni tampoco tomarlos sólo a partir de un tipo de solución existente-.

Siempre que sea posible, una especificación de rendimiento deberá expresarse en términos cuantificables. Así, por ejemplo, deberá especificarse un peso máximo, más que un planteamiento vago como “peso ligero”. Una especificación de seguridad –por ejemplo, para salir de un vehículo- deberá establecer el tiempo máximo permisible para salir en una emergencia, más que emplear términos como “rápidamente” o “prontamente”. Asimismo, siempre que sea posible y apropiado, una especificación deberá fijar un rango de límites dentro de los cuales se encuentre el rendimiento aceptable (*figura 4.10*)



## CAPÍTULO 4



No.	Referencia requerimiento	Especificación	Valor Nominal	Tol.	Unidad	Fuente	Observaciones
1	1	Cantidad de grasa que la estación dosifica	5	±1%	cm <sup>3</sup>	1	Esta cantidad se distribuye en los 18 aplicadores con ayuda de un búfer
2	2, 3	Aplicación simultánea en 3 puntos por cada cepillo	6	+2	cepillo	1, 5	La estación puede adaptarse a un máximo de 8 cepillos.
3	4, 18, 24	Suministro de energía eléctrica	110/220	±1%	V	1, 4, 7	Solo necesaria para el dosificador, empleando el valor estándar industrial
4	4, 6, 24	Entrada de aire	6.9	±1%	bar	1, 4, 7	Se utiliza para alimentar el dosificador y el pistón que mueve el mecanismo, cumple con el estándar industrial.
5	5, 18	Tamaño	0.4x0.4x0.4	±1%	m	2	Considerando la norma sobre ergonomía en el trabajo para facilitar el traslado.
6	7	Temperatura máxima de operación	50	±5%	°C	1, 4, 7	No altera las propiedades del material.
7	8, 18	Peso de la estación	20	±5%	kg	2, 5	Considerando la norma sobre ergonomía en el trabajo para facilitar el traslado.
8	10, 14	Alimentación de grasa	1	-	Cartucho precargado	4, 7	Puede incluirse un sistema de llenado de estos cartuchos.
9	12, 13, 19, 20	Control manual	Sí	-	-	1, 4, 7	Para no sustituir al operador.
10	14, 16, 23	Limpieza	Sistema antigoteo	-	-	1, 4, 7	Sistema antigoteo incluido en el dosificador.
11	9, 10	Dimensiones del aplicador (aguja) Diámetro Longitud	1.2 20	±1% ±1%	mm mm	1, 4, 7	Agujas especiales con tres salidas y sus dimensiones cumplen con el área de aplicación.
12	18	Material del aplicador	Acero inoxidable	-	-	1, 2, 4, 7	No altera las propiedades de la grasa.
13	15, 17	Visibilidad del proceso de engrasado	Sí	-	-	1, 5	Para verificar el engrasado de forma sencilla.
14	16, 22, 23	Períodos de ajuste	8	-	hrs	1, 4, 5	Debe realizarse al inicio de cada turno de trabajo,
15	16, 22	Mantenimiento general	1	-	mes	1, 4, 5	Se debe realizar una inspección de la posición y limpieza de los aplicadores.
16	18	Nivel de ruido	70.84	±5%	dB	2	De acuerdo a las normas de seguridad en el trabajo (STPS).

Figura 4.10  
Especificaciones de la Estación de engrasado



## *Determinación de características*

Determinar la especificación de un producto puede ser origen de conflictos y malentendidos entre los miembros de mercadotecnia e ingeniería del equipo de diseño. Esto por lo general se debe a que se concentran en diferentes interpretaciones acerca de lo que debe especificarse. Los gerentes y los investigadores de mercado tienden a concentrarse más en la especificación de los atributos deseables de un nuevo producto (casi siempre desde el punto de vista de los requerimientos del cliente), en tanto que los diseñadores y los ingenieros se concentran más en las características de ingeniería de un producto (generalmente en términos de sus propiedades físicas).

La relación entre las características y los atributos es de hecho muy estrecha, por lo que se pueden evitar confusiones si se entiende con claridad esta relación. Los diseñadores toman las decisiones correspondientes a las propiedades físicas del producto, determinando de esta manera sus características de ingeniería; pero dichas características determinan entonces los atributos del producto, los cuales, a su vez, satisfacen las necesidades y requerimientos del cliente. Por ejemplo, el diseñador de ingeniería puede seleccionar una cubierta particular de metal para un producto, de un cierto calibre y acabado superficial, determinando de esta forma características como peso, rigidez y textura; estas características fijan los atributos del producto como portabilidad, durabilidad y apariencia. (Cross, 1999)

Con la creciente competencia en los mercados de todos los productos, ha sido necesario asegurar que se entienda adecuadamente la relación entre las características de ingeniería y los atributos del producto. En particular, es necesario entender exactamente qué desean los clientes en términos de atributos del producto y asegurar que éstos se traduzcan cuidadosamente en especificaciones apropiadas de las características de ingeniería. Esta actitud hacia el diseño del producto se basa en la filosofía de "escuchar la voz del cliente", y se refleja en una creciente concentración en la calidad del producto. El diseño que tiene siempre en mente la calidad se reconoce como un factor principal en la determinación del éxito comercial de un producto.

Un método completo para lograr la correspondencia entre los requerimientos del cliente con las características de ingeniería es el método del despliegue de la función de calidad. Esta frase es una traducción de los caracteres japoneses Hin Shitsu, Ki No, Ten Kai. La frase significa el arreglo (despliegue) estratégico en todos los aspectos de un producto (funciones) de características (calidades) apropiadas de acuerdo a las demandas del cliente.

Este método reconoce que la persona que compra (o quien más influye en la decisión de compra) un producto es la persona más importante en la determinación del éxito comercial de un producto. Si los clientes no lo compran, entonces el producto -no importa qué tan "bien diseñado" pueda estar- será un fracaso comercial. Por lo tanto, "la voz del cliente" tiene prioridad en la



determinación de los atributos del producto. Esto significa que debe tenerse cuidado en identificar quiénes son los clientes, escuchar cuidadosamente lo que dicen y determinar las características de ingeniería del producto a la luz de esto.

### Despliegue de la función de calidad

El despliegue de la función de calidad se ocupa esencialmente de traducir los requerimientos del cliente en características de ingeniería, y se presenta aquí en la parte central del proceso de diseño. Sin embargo, ya que es un método completo, algunos de sus aspectos pueden utilizarse en varias etapas del proceso de diseño; también se apoya en características de algunos otros métodos de diseño.

#### *Procedimiento*

1. *Identificar los requerimientos del cliente en términos de los atributos del producto.* Es importante reconocer “la voz del cliente” y que los requerimientos expresados no estén sujetos a una “reinterpretación” por parte del equipo de diseño.
2. *Determinar la importancia relativa de los atributos.* Se pueden emplear técnicas de clasificación o de asignación de puntos para determinar los pesos relativos de los diversos atributos. Normalmente se emplean pesos porcentuales.
3. *Evaluar los atributos de los productos de la competencia.* Las calificaciones de rendimiento de los productos de la competencia y del propio producto (si ya existe una versión de éste) deberán acomodarse en una lista para compararse contra el conjunto de los requerimientos del cliente.
4. *Dibujar una matriz de los atributos del producto contra las características de ingeniería.* Incluir todas las características de ingeniería que influyan en alguno de los atributos del producto y asegurarse de que se expresen en unidades que se pueden medir.
5. *Identificar las relaciones entre las características de ingeniería y los atributos del producto.* La fuerza de las relaciones puede indicarse mediante símbolos o números; el empleo de números tiene ciertas ventajas, pero puede introducir una “exactitud” espuria.
6. *Identificar las interacciones relevantes entre las características de ingeniería.* La matriz con “techo” de la “casa de la calidad” proporciona esta verificación, pero puede depender de los cambios en el concepto del diseño.
7. *Fijar las cifras meta que deben alcanzarse en las características de ingeniería.* Utilizar información de los productos de la competencia o de pruebas con los clientes (*figura 4.11*)



## DISEÑO CONCEPTUAL



ESPECIFICACIONES REQUERIMIENTOS		Grado de importancia	Cantidad de grasa que la estación dosifica	Aplicación simultánea en 3 puntos por cada cepillo	Suministro de energía eléctrica	Entrada de aire	Tamaño	Temperatura máxima de operación	Peso de la estación	Alimentación de grasa	Control manual	Limpieza	Dimensiones del aplicador	Material del aplicador	Visibilidad del proceso de engrasado	Períodos de ajuste	Mantenimiento general	Nivel de ruido
MATERIAL	Aplicación correcta de la cantidad de grasa	5	9	1						1	1	1	3		1	1	1	
	No dañe las partes del cepillo	4				9		3										
	Evite el calentamiento excesivo	3						9										
GEOMETRÍA	Aplicación en puntos múltiples	5	1	9						1	1	1	3		1	1	1	
	Aplicación simultánea en varios cepillos	5	3	9														
	Tamaño pequeño de la estación	4					9		3									
	Dimensiones de los aplicadores adecuadas a la geometría del cepillo	5					1		1				9					
ENERGÍA	Adecuada a los suministros actuales de energía	5			9	9												
	Bajo consumo de energía	4			9	3										1	1	
PESO	Ligera	3					3		9							1	1	
PRODUCCIÓN	Incluya los equipos actuales	5			3	3				9			3					
	Fabricación sencilla de componentes	3														3	3	
	Evite el desperdicio	3	1	1						3		9						
	Mejorar tiempos de engrasado	4	9	9						3							9	

Figura 4.11

Matriz de interacciones de requerimientos para la Estación de engrasado (continua)



## CAPÍTULO 4



ESPECIFICACIONES REQUERIMIENTOS		Grado de importancia	Cantidad de grasa que la estación dosifica	Aplicación simultánea en 3 puntos por cada cepillo	Suministro de energía eléctrica	Entrada de aire	Tamaño	Temperatura máxima de operación	Peso de la estación	Alimentación de grasa	Control manual	Limpieza	Dimensiones del aplicador	Material del aplicador	Visibilidad del proceso de engrasado	Períodos de ajuste	Mantenimiento general	Nivel de ruido
CONTROL	Control manual de la estación	5									9					3		
	Velocidad de posicionamiento	2		3			9				3							
OPERACIÓN	Operada por una sola persona	5					1		1		9							
	Lectura rápida de los sistemas de medición	1					1								3	1		
	Facilidad de operación	4					3			3	9				3			
CALIDAD	Fácil comprobación visual del engrasado	3					1					1			9	3		
ENSAMBLE	Ensamble sencillo	2										1				3	3	
	Número pequeño de componentes	2														1	3	
	Baja complejidad de componentes	2														3	3	
	Componentes estandarizados	3														1	3	
NORMAS	Cumpla con normas	4			3	3	3		3					9				9
CINEMÁTICA	Movimiento lineal de aplicadores	3		9							1					1		
MTTO	Facilidad de mantenimiento	2					3		3			1				3	9	

Figura 4.11  
Matriz de interacciones de requerimientos para la Estación de engrasado



## Carta morfológica

La generación de soluciones es, por supuesto, el aspecto esencial y central del diseño. Ya sea que uno lo vea como un acto misterioso de creatividad o como un proceso lógico de solución de problemas, todo el propósito del diseño es hacer una propuesta de algo nuevo (algo que todavía no existe).

En consecuencia, una característica importante de la actividad de diseño es hacer variantes sobre temas establecidos. También es la forma en la que se desarrolla en realidad gran parte del pensamiento creativo. En particular, la creatividad puede verse en muchos casos como un nuevo arreglo o una nueva combinación de elementos existentes. (Cross, 1999)

Este reordenamiento creativo es factible debido a que es posible combinar un número relativamente pequeño de elementos o componentes básicos en un gran número de formas diferentes. Esto se demuestra con el ejemplo sencillo del arreglo de cuadrados adyacentes en patrones (figura 4.12):

Núm. de cuadros	Núm. de arreglos de formas distintas
2	1
3	2
4	5
5	12
6	35
7	108
8	369
.	.
.	.
.	.
16	13 079 255

Figura 4.12  
Arreglo de cuadrados adyacentes en patrones

El número de diferentes arreglos, es decir, patrones o diseños, pronto se convierte en una “explosión combinatoria” de posibilidades.

El método de la carta morfológica explota este fenómeno y motiva al diseñador a identificar combinaciones novedosas de elementos o componentes. La carta presenta la gama completa de elementos, componentes o soluciones secundarias que pueden combinarse para formar una solución. El número de combinaciones posibles generalmente es muy elevado, e incluye no sólo las soluciones convencionales existentes, sino también una amplia gama de variantes y soluciones completamente novedosas.



El principal propósito de este método es ampliar la búsqueda de nuevas soluciones posibles. La morfología estudia la forma. Por lo tanto, un análisis morfológico es un intento sistemático para analizar la forma que puede asumir un producto o una máquina y una carta morfológica es un resumen de este análisis. En el diagrama se pueden seleccionar diferentes combinaciones de soluciones secundarias, lo que puede conducir a nuevas soluciones que no se habían identificado anteriormente.

### El método de la carta morfológica

#### *Procedimiento*

- a) **Hacer una lista de las características o funciones que son esenciales para la estación de engrasado.** El propósito de la lista es tratar de establecer los aspectos esenciales que deben incorporarse en la estación, o que éste debe ser capaz de realizar. En consecuencia, estos aspectos generalmente se expresan en términos más bien abstractos de requerimientos o funciones de la estación. En el método del diagrama morfológico, dichos aspectos se conocen como los “parámetros” de diseño. Al igual que en muchos otros métodos de diseño, en vez de pensar en términos de los componentes físicos que podría tener una estación típica, se tiene que pensar en las funciones a las que sirven dichos componentes.

Los elementos de la lista deben tener el mismo nivel de generalidad y ser tan independientes uno del otro como sea posible. También deben cubrir completamente las funciones necesarias de la estación de engrasado a diseñar. No obstante, la lista no debe ser demasiado larga; si lo es, la gama de combinaciones posibles de soluciones secundarias puede resultar tan grande que sea difícil de manejar. Una lista razonable y manejable debe tener de cuatro a ocho características o funciones, aproximadamente.

Para determinar las características básicas de la estación, se estudiaron los requerimientos de la empresa, tratando de que estas características cubran completamente las funciones necesarias de la estación a diseñar. La lista es la siguiente:

1. Colocar rack
2. Acercar aplicadores
3. Posicionar dosificadores
4. Dosificar grasa
5. Aplicar grasa
6. Retirar aplicadores
7. Quitar rack

- b) **Anotar los medios por los cuales cada característica o función podría realizarse.** Estas listas secundarias son las soluciones secundarias individuales que, al combinarse, una de cada lista, forman la solución general de diseño. Estas soluciones secundarias también se pueden



expresar en términos más bien generales, pero probablemente sea mejor si pueden identificarse como componentes reales o formas físicas.

Las listas de medios pueden incluir no sólo a los componentes convencionales existentes o las soluciones secundarias de la estación en particular, sino también elementos nuevos que sean considerados como factibles (figura 4.13):

Características	Medios
Colocar rack	Manual, banda transportadora, robot scara.
Acercar aplicadores	Manual, pistón, mecanismo de cuatro barras, automático con motor de pasos.
Posicionar dosificadores	Manual, escantillón, plantilla, sensor electrónico de movimiento.
Dosificar grasa	Dosificador analógico, dosificador digital volumétrico o gravimétrico, Bomba de pedal, bomba de extrusión.
Aplicar Grasa	Agujas, jeringas, esprea, boquilla.
Retirar aplicadores	Manual, pistón, mecanismo de cuatro barras, automático con motor de pasos.
Quitar rack	Manual, banda transportadora, robot scara.

Figura 4.13

Lista de características y los medios para realizarlas

- c) **Elaborar la carta que contenga todas las soluciones secundarias posibles.** La carta morfológica se construye a partir de las listas anteriores. Al principio, ésta es simplemente una rejilla de cuadros vacíos. Verticalmente, del lado izquierdo, se incluyen las características o funciones esenciales de la estación (es decir, la primera lista que se elaboró). A continuación, en cada fila se introducen las listas secundarias apropiadas de soluciones secundarias o medios para realizar las funciones. No hay una relación dentro de las columnas de la carta; los distintos cuadros son simplemente ubicaciones convenientes para los distintos elementos (figura 4.14)

FUNCIONES PRINCIPALES		SOLUCIONES			
		1	2	3	4
<b>A</b>	Colocar rack	Manual	Banda transportadora	Robot scara	
<b>B</b>	Acercar aplicadores	Manual	Pistón	Mecanismo (cuatro barras)	Automático (motor de pasos)
<b>C</b>	Posicionar aplicadores	Manual, habilidad del operador (pulso)	Escantillón	Plantilla	Sensor electrónico (movimiento)
<b>D</b>	Dosificar grasa	Dosificador analógico	Dosificador digital (volumétrico ó gravimétrico)	Bomba de pedal	Bomba de extrusión
<b>E</b>	Aplicar la grasa	Agujas	Jeringas	Esprea (spray)	Boquilla
<b>F</b>	Retirar aplicadores	Manual	Pistón	Mecanismo (cuatro barras)	Automático (motor de pasos)
<b>G</b>	Quitar rack	Manual	Banda transportadora	Robot scara	

Figura 4.14  
Carta morfológica de la estación de engrasado

Una vez terminado, la carta morfológica contiene la gama completa de todas las formas diferentes de solución teóricamente posibles para la estación. Esta gama completa de soluciones la integran las combinaciones que se forman al seleccionar de cada fila una solución secundaria a la vez. Por tanto, el número total de combinaciones casi siempre es muy grande.



El cálculo de las posibles combinaciones o soluciones de nuestra carta, se obtuvieron de la siguiente forma; el número de las funciones por el número de medios en cada renglón, lo que resulta de la siguiente operación  $7 \times 3 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 3 = 9,216$ . Debido a esta explosión combinatoria potencial, la lista de medios para cada función deberá mantenerse razonablemente breve.

d) **Identificar las combinaciones factibles de soluciones secundarias.**

Obviamente, la gama completa de combinaciones posibles para cualquier producto puede ser un número muy grande. Algunas de estas combinaciones (probablemente un número pequeño) serán soluciones existentes; otras serán nuevas soluciones factibles; y probablemente un gran número más serán soluciones imposibles, ya sea por razones de aplicación práctica o debido a que algunos pares particulares de soluciones secundarias pudieran ser incompatibles.

Si el número total de combinaciones es muy grande como se puede apreciar en el inciso c), entonces debemos aplicar alguna forma para reducir este número a uno más manejable. La forma que se utilizó en este trabajo consiste en elegir sólo un conjunto limitado de soluciones que son eficientes y prácticas, o que se vieron prometedoras por otras razones, tales como el presupuesto para este proyecto y la incompatibilidad de elementos de diferentes proveedores.

El total de combinaciones luego de eliminar los equipos siguientes: el robot scara, porque su costo está por encima del presupuesto, el dosificador analógico por ser incompatible con el resto de los equipos, la esprea porque se tendría mayor cantidad de desperdicios, que a la larga se traducirán en pérdidas para la empresa, además teniendo en cuenta los equipos existentes en las celdas, los cuales deberán seguir ocupándose para no incrementar los costos en la adquisición de otros equipos, es de  $7 \times 2 \times 4 \times 3 \times 4 \times 2 = 1,344$ .

Las combinaciones obtenidas en base en lo anterior son las siguientes:

**A1 – B3 – C2 – D2 – E1 – F3 – G1**

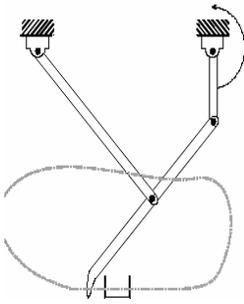
ALTERNATIVA # 1				
	Obtención y llenado del depósito	Colocación del dosificador para inyectar	Dosificar grasa	Aplicar grasa
EQUIPO	Cargador de jeringas automático	Mecanismo de 4 barras	Sistema dispensador analógico	Agujas inoxidables de precisión Agujas especiales
				

Figura 4.15  
Equipo a utilizar en la alternativa 1

Se cargarían 6 jeringas, mismas que se colocan en el mecanismo. El mecanismo realizará un movimiento lineal en dirección vertical en dos pasos; primero para aproximar el grupo de jeringas al rack, segundo para posicionar las agujas en los puntos de inyección.

Para dosificar la grasa se conecta el sistema dispensador al grupo de jeringas, este equipo tiene la característica de aplicar puntos con lo que se garantiza la cantidad exacta de grasa a utilizar, además de que evita pérdidas y ocupa poco espacio.

Las agujas múltiples permiten la aplicación simultánea en los 3 puntos.

**A2 – B1 – C3 – D4 – E1 – F1 – G2**

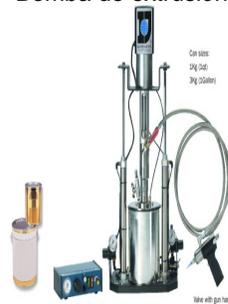
ALTERNATIVA # 2				
	Obtención y llenado del depósito	Colocación del dosificador para inyectar	Dosificar grasa	Aplicar grasa
EQUIPO	Bomba de extrusión	Plantilla	Bomba de extrusión	Agujas inoxidables de precisión Agujas especiales
				

Figura 4.16  
Equipo a utilizar en la alternativa 2

La bomba de extrusión reúne varias funciones del proceso: obtención, llenado y dosificación.

Después de que la grasa se encuentre a las condiciones requeridas (presión, tiempo o cantidad), el operador debe manipular el rack para ubicarlos con ayuda de una guía, posteriormente posicionar la pistola aplicadora auxiliándose de una guía (plantilla barrenada).

**A1 – B2 – C2 – D2 – E1 – F2 – G1**

ALTERNATIVA # 3				
	Obtención y llenado del depósito	Colocación del dosificador para inyectar	Dosificar grasa	Aplicar grasa
<b>EQUIPO</b>	Cargador de jeringa manual 	Pistón neumático 	Dosificador digital (equipo actualmente utilizado) 	Agujas inoxidables de precisión Agujas especiales 

Figura 4.17  
Equipo a utilizar en la alternativa 3

Se carga una sola jeringa que será colocada en un soporte adaptado al pistón neumático, este equipo actúa sólo sobre el eje vertical o bien se puede inclinar, funciona en forma manual o automática. El dispensador que aquí aparece es el que la empresa posee y es activado con un interruptor de pedal. Se garantiza la correcta ubicación de los puntos de aplicación, gracias al diseño del equipo.

**A3 – B4 – C4 – D3 – E1 – F4 – G3**

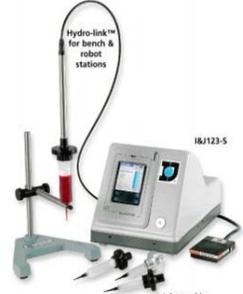
ALTERNATIVA # 4				
	Obtención y llenado del depósito	Colocación del dosificador para inyectar	Dosificar grasa	Aplicar grasa
<b>EQUIPO</b>	Dispensador mecánico 	SCARA 	Dispensador mecánico 	Agujas inoxidables de precisión Agujas especiales 

Figura 4.18  
Equipo a utilizar en la alternativa 4



## CAPÍTULO 4

---



Esta combinación se analizó con el fin de comprobar que no es una buena alternativa, ya que el equipo que interviene en ella es demasiado costoso, la estación sería completamente automatizada y estaríamos desplazando a los operadores, cosa que no se desea.



## Capítulo 5 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

### *Evaluación técnica*

Una vez que se ha creado una serie de diseños alternativos, el diseñador enfrenta el problema de seleccionar el mejor. En varios puntos del proceso de diseño, quizás también deban tomarse decisiones sobre soluciones secundarias alternativas o características alternativas y su posible incorporación en el diseño final. En consecuencia, la elección entre diferentes alternativas es una característica común de la actividad de diseño. (Cross, 1999)

La elección puede hacerse con base en conjeturas, intuición, experiencia, o tomando una decisión arbitraria. Sin embargo, es mejor si la elección se hace mediante un procedimiento más lógico, o por lo menos abierto. No sólo el diseñador se sentirá más seguro de su elección, sino que las otras personas implicadas en la toma de decisiones, o sea el cliente y demás integrantes del equipo de diseño, podrán participar en la elección, o evaluar su validez.

La evaluación de alternativas sólo puede hacerse si se toman en consideración los objetivos que se supone debe alcanzar el diseño. Una evaluación determina el “valor” o “utilidad” global de una propuesta de diseño particular con relación a los objetivos de diseño. Sin embargo, puede considerarse que cada objetivo tiene diferente “valor” comparado con los otros, es decir, se considera más importante. Por lo tanto, generalmente resulta necesario tener algún medio para ponderar diferencialmente los objetivos, de tal manera que los rendimientos de los diseños alternativos puedan evaluarse y compararse a lo largo de todo el conjunto de objetivos.

El método de los *objetivos ponderados* es un medio para evaluar y comparar los diseños alternativos, empleando objetivos diferencialmente ponderados. Este método asigna pesos numéricos a los objetivos y calificaciones numéricas a los rendimientos de los diseños alternativos medidos contra los objetivos correspondientes. Sin embargo debe hacerse hincapié en que tales calificaciones y ponderaciones pueden conducir a una persona incauta a cierta aritmética muy dudosa. La simple asignación de números a los objetivos, no significa que se les puedan aplicar operaciones aritméticas.



## El método de objetivos ponderados

### *Procedimiento*

#### **1. Preparar la lista de los objetivos de diseño**

Para hacer cualquier clase de evaluación, es necesario tener un conjunto de criterios, los mismos que deben basarse en los objetivos de diseño, es decir, lo que se quiere que logre el diseño. Los objetivos deben establecerse en una etapa temprana del proceso de diseño. Sin embargo, en las etapas posteriores del proceso (cuando la evaluación se vuelve especialmente importante) el primer conjunto de objetivos podría muy bien haber sido modificado, o quizás no fuera totalmente apropiado para los diseños que efectivamente se han desarrollado. En consecuencia, como una etapa preliminar en el procedimiento de evaluación, es necesaria cierta clarificación del conjunto de objetivos.

Los objetivos incluyen factores técnicos y económicos, requerimientos de los usuarios, requerimientos de seguridad, etc. Es necesario elaborar una lista completa. Siempre que sea posible, un objetivo debe plantearse de tal forma que pueda hacerse una evaluación cualitativa del rendimiento alcanzado por un diseño con respecto a dicho objetivo. Algunos objetivos están relacionados inevitablemente con los aspectos cualitativos del diseño; a éstos se les puede asignar posteriormente "calificaciones", pero deberá tenerse presente la advertencia acerca de las limitaciones del empleo de la aritmética. Las operaciones aritméticas sólo pueden aplicarse a datos que se han medido en una escala de *intervalos o razones*.

La lista de objetivos generada de este trabajo es la siguiente:

- A) Cantidad de grasa que la estación dosifica
- B) Aplicación simultánea en 3 puntos por cada cepillo.
- C) Suministro de energía eléctrica
- D) Entrada de aire
- E) Tamaño
- F) Temperatura máxima de operación
- G) Peso de la estación
- H) Alimentación de grasa
- I) Control manual
- J) Limpieza
- K) Dimensiones del aplicador
- L) Material del aplicador
- M) Visibilidad del proceso de engrasado
- N) Períodos de ajuste
- O) Mantenimiento general
- P) Nivel de ruido



## 2. Ordenar la lista de objetivos

La lista de objetivos contiene una amplia variedad de requerimientos de diseño, algunos de los cuales serán considerados más importantes que otros. Como primer paso en la determinación de los “pesos” relativos de los objetivos, generalmente es posible hacer una lista en orden de importancia.

El proceso de ordenamiento puede auxiliarse mediante la comparación sistemática de pares de objetivos, uno contra otro. Se puede utilizar una tabla sencilla (*figura 5.1*) para registrar las comparaciones.

Objetivos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Totales de fila
A																	
B																	
C																	
D																	
E																	
F																	
G																	
H																	
I																	
J																	
K																	
L																	
M																	
N																	
O																	
P																	

Figura 5.1

Tabla para el proceso de ordenamiento de objetivos

Cada objetivo se considera a su vez contra cada uno de los demás. En la celda correspondiente de la matriz se anota una cifra 1 ó 0, lo que dependerá de si el primer objetivo tiene más o menos importancia que el segundo, y así sucesivamente.

Se comienza con el objetivo A y trabaja a lo largo de la fila de la tabla preguntando “¿Es A más importante que B?”... “¿Qué F?”... “¿Qué L?”, etc. Si se considera más importante, en la celda de la matriz se anota un 1; se considera menos importante, entonces se anota un 0 (*figura 5.2*)



Objetivos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Totales de fila
A	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15
B	0	-	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	13
C	0	0	-	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	12
D	0	0	0	-	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	11
E	0	0	0	0	-	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	5
F	0	0	0	0	1	-	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	8
G	0	0	0	0	1	0	-	0	1	1	0	0	0	0	0	1	4
H	0	1	1	1	1	1	1	-	1	1	0	0	1	1	1	1	12
I	0	0	0	0	0	1	0	0	-	0	0	0	1	1	1	1	5
J	0	0	0	0	1	0	0	0	1	-	0	0	1	1	1	1	6
K	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	11
L	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	-	1	1	1	1	9
M	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-	0	0	0	1
N	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	-	0	0	2
O	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	-	1	4
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	-	2

Figura 5.2  
Ordenamiento de objetivos

Una vez efectuados todos los pares de comparaciones, los totales de las filas indican el orden de clasificación de los objetivos. El total de la fila más grande indica el objetivo de máxima prioridad. Por lo tanto la figura anterior nos da el orden de clasificación que resulta ser:

- A) Cantidad de grasa que la estación dosifica
- B) Aplicación simultánea en tres puntos por cada cepillo
- C) Suministro de energía eléctrica
- H) Alimentación de grasa
- D) Entrada de aire
- K) Dimensiones del aplicador
- L) Material del aplicador
- F) Temperatura máxima de operación
- J) Limpieza
- E) Tamaño
- I) Control manual
- G) Peso de la estación
- O) Mantenimiento general
- N) Períodos de ajuste
- P) Nivel de ruido
- M) Visibilidad del proceso de engrasado

Como la clasificación no resulta ser transitiva, es decir, el objetivo E no es más importante que el I, y el I no más importante que G y este último no más



importante que E. Entonces fue necesario tomar algunas decisiones difíciles para clasificarlas, son decisiones arbitrarias y subjetivas.

**3. Asignar a los objetivos ponderaciones relativas.**

El siguiente paso consiste en asignar un valor numérico a cada objetivo, representando su “peso” con relación a los otros objetivos. Una forma sencilla de hacerlo consiste en considerar la lista ordenada como si los objetivos estuvieran colocados en posiciones de importancia o valor relativo, en una escala de 1 a 10 ó 1 a 100. En nuestro caso, los objetivos ordenados tomaron posiciones relativas en una escala de 1 a 10 como sigue:

A) Cantidad de grasa que la estación dosifica .....	10
B) Aplicación simultánea en tres puntos por cada cepillo .....	9
C) Suministro de energía eléctrica .....	8
H) Alimentación de grasa .....	8
D) Entrada de aire .....	7
K) Dimensiones del aplicador .....	7
L) Material del aplicador .....	6
F) Temperatura máxima de operación .....	5
J) Limpieza .....	4
E) Tamaño .....	3
I) Control manual.....	3
G) Peso de la estación .....	3
O) Mantenimiento general .....	3
N) Períodos de ajuste .....	1
P) Nivel de ruido .....	1
M) Visibilidad del proceso de engrasado .....	1



Objetivo	Total de fila	Posición relativa	Total de fila unitario ó peso relativo
A	15	10	0.13
B	13	9	0.11
C	12	8	0.10
H	12		0.10
D	11	7	0.09
K	11		0.09
L	9	6	0.07
F	8	5	0.07
J	6	4	0.05
E	5	3	0.04
I	5		0.04
G	4		0.03
O	4		0.03
N	2	1	0.02
P	2		0.02
M	1		0.01
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>		<b>1</b>

Figura 5.3  
Ordenamiento de objetivos

Al objetivo más importante, que es A, se le ha dado el valor de 10, y a los otros se les han dado valores relativos a éste. Así, el objetivo D se valúa como un 70% del valor del objetivo A; el objetivo L se valúa dos veces más alto que el objetivo O, etc. Los valores correspondientes de la escala indican el nivel de importancia de cada objetivo con respecto a los otros. La columna con encabezado total de fila unitario, sus valores son los pesos relativos de los objetivos. Se podrían considerar también la escala de 1 a 10 como el peso relativo, aquí se decidió tomar los unitarios, teniendo en cuenta que la suma de esos pesos debe dar la unidad, como se muestra en la *figura 5.3* al final de la tabla, en el renglón total.

La manera en que se obtuvo los pesos relativos, es la siguiente; primero, se sumó el total de fila, este valor se dividió entre el valor para cada objetivo, obtenido del ordenamiento de objetivos, *figura 5.2*, esto con el objeto de hacer unitario cada valor, el cual es el peso relativo para cada objetivo.

Logrando llegar a estas ponderaciones relativas y siendo satisfactoria la posición relativa de los objetivos en la escala, entonces hemos convertido la escala ordinal de clasificación en una escala de valores de intervalos, que puede utilizarse para operaciones aritméticas.



#### 4. Establecer parámetros de rendimiento o calificaciones de utilidad para cada uno de los objetivos.

Los planteamientos de los objetivos deben convertirse en parámetros que puedan medirse, o por lo menos estimarse con cierta confianza.

Algunos parámetros no se pueden medir en forma sencilla y cuantificable, pero sí es posible asignarles calificaciones de utilidad estimadas en una escala de puntos. La escala más sencilla generalmente tiene cinco grados, que representan los siguientes niveles de rendimiento:

- Muy por debajo del promedio
- Debajo del promedio
- Promedio
- Arriba del promedio
- Muy por arriba del promedio

Una escala de cinco puntos (0-4) es demasiado burda, y quizás se necesite emplear una escala de nueve puntos (0-8) o de once puntos (0-10). Los grados de rendimiento evaluados mediante una escala de once puntos y una escala de cinco puntos pueden compararse como en la *figura 5.4*.

Escala de once puntos	Significado	Escala de cinco puntos	Significado
0	Solución totalmente inútil	0	Inadecuada
1	Solución inadecuada		
2	Solución muy mala	1	Débil
3	Solución mala		
4	Solución tolerable	2	Satisfactoria
5	Solución adecuada		
6	Solución satisfactoria		
7	Solución buena	3	Buena
8	Solución muy buena		
9	Solución excelente	4	Excelente
10	Solución perfecta o ideal		

Figura 5.4

Tabla comparativa de escalas once vs. cinco puntos.

Tanto los parámetros cuantitativos como los cualitativos pueden compararse conjuntamente en una escala de puntos, representando la escala de rendimientos del peor al mejor posible.

Puntos	Peso de la estación [kg]	Traslado manual
0	> 50	Imposible traslado manual
1	40	Mal traslado manual
2	30	Deficiente traslado manual
3	20	Buen traslado manual
4	10	Excelente traslado manual

Figura 5.5  
Comparación de parámetros cuantitativo y cualitativo.

### 5. Calcular y comparar los valores de utilidad relativa de los diseños alternativos.

El paso final en la evaluación consiste en considerar cada propuesta de diseño alternativa y calcular para cada una de ellas una calificación para su rendimiento con respecto a los parámetros establecidos (*figura 5.6*)

Las medidas burdas de rendimiento o calificaciones de puntos por parámetro en cada diseño alternativo deben ajustarse de manera que tomen en cuenta los diferentes pesos de cada objetivo. Esto se hace multiplicando simplemente la calificación por el valor del peso, para obtener así un conjunto de calificaciones ajustadas para cada diseño alternativo, que indica el “valor de utilidad” relativo de dicha alternativa para cada objetivo.

Estos valores de utilidad se utilizan después como base de comparación entre los diseños alternativos. Una de las comparaciones más sencillas que puede hacerse consiste en sumar las calificaciones de los valores de utilidad de cada alternativa. Estas calificaciones totales permiten después que las alternativas sean clasificadas en orden de rendimiento.



## EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS



Objetivo	Peso	Valor nominal	Unidades	Propuesta 1			Propuesta 2			Propuesta 3			Propuesta 4		
				Magnitud	Calificación	Valor	Magnitud	Calificación	Valor	Magnitud	Calificación	Valor	Magnitud	Calificación	Valor
A	0.13	5	cm <sup>3</sup>	355	2	0.26	380	2	0.26	5	4	0.52	3 a 33	4	0.52
B	0.11	6	Cepillo	6	4	0.44	6	4	0.44	6	4	0.44	8	4	0.44
C	0.1	110 / 220	V		0	0	110 / 220	4	0.4	110 / 220	4	0.4		0	0
H	0.1	1	Cartucho precargado	1	4	0.4	0	0	0	1	4	0.4	1	4	0.4
D	0.09	6.9	bar		0	0	2.4 a 7	4	0.36	4.1 a 6.2	3	0.27		0	0
K	0.09	1.2 20	mm	1.2 20	4	0.36	1.2 20	4	0.36	1.2 20	4	0.36	1.2 20	4	0.36
L	0.07	Acero inoxidable	Cualitativo	Excelente	4	0.28	Excelente	4	0.28	Excelente	4	0.28	Buen	3	0.21
F	0.07	50	°C		0	0	50	4	0.28	50	4	0.28		0	0
J	0.05	Sistema antigoteo	Cualitativo	Buena succión por vacío	3	0.15	Buena	3	0.15	Excelente	4	0.2	Excelente	4	0.2
E	0.04	0.7 x 0.5 x 0.4	m		0	0	0.215 x 0.44 x 0.55	2	0.08	0.7 x 0.5 x 0.4	4	0.16	0.44 x 0.670 x 0.650	1	0.04
I	0.04	SI	Cualitativo	Buen	3	0.12	Buen	3	0.12	Buena	3	0.12	Débil	1	0.04
G	0.03	20	Kg		0	0	12.73	4	0.12	13.32	4	0.12	>50	0	0
O	0.03	1	mes	1	4	0.12	1	4	0.12	1	4	0.12		0	0
N	0.02	8	hrs	8	4	0.08	8	4	0.08	8	4	0.08	8	4	0.08
P	0.02	70.84	dB		0	0	70.84	3	0.06	64.12	4	0.08		0	0
M	0.01	SI	Cualitativo	Buena	3	0.03	Buena	3	0.03	Excelente	4	0.04	Débil	1	0.01
Valor general de utilidad						2.24			3.14			3.87			2.3

Figura 5.6  
Evaluación técnica de alternativas



La calificación se determinó con una escala de cinco puntos (0-4), está basada en lo que el cliente necesita, las instalaciones de su empresa, el rango que presentan los proveedores de equipo, para lograr esta calificación se obtuvo anteriormente un valor nominal teniendo en consideración los puntos anteriores. Los pesos relativos para cada objetivo se obtuvieron con objetivos ponderados que se tienen en la *figura 5.3*

La tabla de la *figura 5.6* fue llenada con la información obtenida en el checklist, que es la información técnica de los equipos, sin tener todavía en cuenta los costos de éstos.

Para cada propuesta, la calificación de utilidad de cada objetivo se multiplicó por el peso de este, dando un valor de utilidad relativa. Estas cifras al sumarse arrojan un valor de utilidad general para cada alternativa. Como lo muestran los resultados de la tabla anterior, la propuesta 3 se perfila como la mejor alternativa de manera general.

La alternativa 3 técnicamente es la mejor opción; cumple satisfactoriamente con las necesidades a nivel técnico que solicita el cliente, ahora sólo falta la evaluación económica, que se presenta a continuación.

### ***Evaluación Económica***

Se pidió el presupuesto de los equipos con un solo proveedor, por esta razón se tomó en consideración una sola cotización (*figura 5.7*) con diferentes equipos pero sólo se utilizaron los que se encuentran señalados con un círculo negro. Otro punto importante es que antes de comprar el equipo, este proveedor lo presta para realizar pruebas de funcionamiento sin costo alguno; de esta manera eliminamos posibles problemas de adaptación y operación.



  
 CANALES 2207 ESQ. J Ma. CARDENAS C.P. 87460 H. MATAMOROS T AMPS  
 Tel : (868) 814-0804, 814-6010, Lada sin Costo: 01800 5062238  
 Fax: (868) 814-4951  
 Info@coprise.com.mx y sales@coprise.com.mx  
 www.coprise.com.mx

COTIZACION # 00092

FECHA: 11 Nov. 2004.

Paginas 1 - 2

## COTIZACION

ATN: DR. SAUL SANTILLAN GUTIERREZ  
 CENTRO DE DISEÑO Y MANUFACTURA

CANTIDAD	NUM. DE PARTE	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	TOTAL
●	560548-M	Cargador de Jeringa MANUAL para cartuchos 380 cc		\$ 4,931.00
●	560022	Cargador de Jeringa Automático para cartuchos 355 cc		\$ 4,051.76
●	561123-3	Aguja Triple de Acero Inoxidable de Precisión		\$ 723.74
	DB815-SB	Bomba de Pedal		\$ 4,566.76
●	DA35-110	Bomba de Extrusión		\$ 42,486.89
●	Z620	Dosificador Z		\$ 27,302.87
	I&J123-S	Dosificador Volumétrico		\$ 56,559.88
●	TMB100-110	Scara Robot Incluye: Tarjeta de Memoria, Teach Pendant y Caja de Operaciones.		<b>\$239,379.87</b>
<b>TOTAL</b>				

**Nota:** (Doscientos treinta y nueve mil trescientos setenta y nueve pesos 87/100 MN.)

**PRECIOS:**

En moneda nacional. Basados en Dólares, sujetos a cambio en caso de una devaluación brusca.

**NO INCLUYEN IVA AUN (15%)**

**FOB Suplanta. (PENDIENTE DEFINIR FLETE MATAMOROS- MEXICO)**

**Tiempo de entrega:** De 5 a 10 días hábiles.

**Condiciones de pago:** Orden de compra acompañada de ficha de depósito a nombre de la Sra. Maria Isabel Fernández Cervantes a la cuenta # 0132803240 del Banco BBVA Bancomer, suc. 0702. En H. Matamoros, Tamps.

**NOTA:** En caso de realizar sus pagos vía transferencia electrónica favor de confirmar nuestro número de clave bancaria estandarizada # 012818001328032405

Atentamente,

Maria Isabel Fernández C.  
 Coprise

Figura 5.7  
 Cotización de Equipo



### CONSIDERACIONES GENERALES:

- ❖ El cálculo de la inversión de cada alternativa es por un solo equipo por celda, pero en el cálculo de vida del proyecto, esta cantidad se multiplicó por tres; ya que la estación se montará en 3 celdas.
- ❖ Se está tomando un turno de 8 horas (un día laboral tiene 3 turnos de 8 horas cada uno) en un año laboral de 250 días. Esto nos da un total de 7,200,000 segundos para un solo turno en un año en una celda.
- ❖ Todos los precios están dados en dólares, tanto el valor de las inversiones iniciales así como el cálculo de los flujos del valor presente.
- ❖ Para todas las alternativas se tomó un periodo de vida de 10 años para el proyecto. Esta cifra se obtuvo con base en las especificaciones del proveedor así como de la jornada de trabajo diaria con la cual el equipo funcionará.
- ❖ Se tomó una tasa de descuento del **16%**, la cual se calculó con base en el giro de la empresa, su valor en el mercado y el valor de los cetes.
- ❖ Para todas las alternativas se calculó la TIR (Tasa Interna de Retorno) la cual nos dará la pauta para seleccionar la mejor alternativa económica. También se obtuvo la PRIA, que es la cifra que indica el lapso de tiempo en el que la inversión inicial será recuperada.  
El criterio usado para la TIR es el siguiente:  
TIR < Tasa de descuento, el proyecto no es viable (es mejor no invertir en él).  
TIR = Tasa de descuento, da lo mismo si se invierte o no.  
TIR > Tasa de descuento, el proyecto es viable (se recomienda invertir).  
El VPN, es el valor presente neto, el cual nos indica el valor real de la ganancia (si es positivo) o pérdida (si es negativo) que se tendrá al final de la vida del proyecto reflejado al valor del dinero en el tiempo presente (es decir al día de hoy).
- ❖ También se consideró el mantenimiento, el cual es el mismo para las cuatro alternativas. Éste consiste en 4 sesiones de mantenimiento por celda al año cuya duración es de media hora más o menos por sesión. El costo es de 150 dólares por sesión por celda. Estos datos fueron dados por la empresa y de acuerdo con las especificaciones del proveedor.
- ❖ Se tomó el 15% de IVA, el cual fue especificado en la cotización del proveedor.
- ❖ El precio del flete es el mismo para todas las alternativas, ya que la empresa a la que se le pidió el presupuesto también incluye el traslado del equipo a la Cd. De México.
- ❖ El costo de ingeniería incluye el armado del equipo de las diferentes alternativas y también fue dado por la empresa a la cual se le pidió el equipo. Es el mismo para las cuatro alternativas.
- ❖ La depreciación del equipo se calculó a un 10% por año, de acuerdo a lo indicado en la Ley Fiscal, y el método utilizado fue lineal (no fue necesario hacer ajustes a la depreciación).



❖ La evaluación de las 4 alternativas se puede ver en el **anexo 4**.

PARA LA PROPUESTA 1:

Para esta alternativa se muestra en la siguiente tabla su inversión inicial en base al equipo que la alternativa 1 requiere:

Dispositivo	Costo (dls.)	Costo con IVA
Cargador de jeringa automático	272.53	313.4095
mecanismo de 4 barras	899	1033.85
sistema dispensador analógico	3804.34	4374.991
ingeniería	1416	1628.4
Agujas	48.68	55.982
<b>Total</b>		<b>7,406.63</b>
<b>Flete</b>		<b>900</b>
<b>Total</b>		<b>8,306.63</b>

Figura 5.8  
Inversión de la Alternativa 1

Lo que más destaca en esta inversión es el precio del dispensador analógico, ya que lo que resta del equipo es de un costo mucho menor. Es el dispensador el que, precisamente, hace que el costo se eleve. Tomando en cuenta el valor inicial de la alternativa 1 y en base a la duración del proyecto, se obtuvieron los siguientes resultados:

<b>VPN</b>	-6162.98503
<b>TIR</b>	9%
<b>PRIA</b>	7.4486939

Figura 5.9  
Resultados de la Evaluación

Como se puede observar la TIR es menor a la tasa de descuento, lo que nos indica que esta alternativa no es viable y se aconseja no invertir en ella. Además se observa, a través de la PRIA, que la inversión se recuperaría después del séptimo año.

Por otra parte el Valor Presente Neto nos reporta un valor de casi -6163 dólares, al ser negativo, nos indica que no hay una ganancia verdadera en comparación con los gastos que se tienen a lo largo de la vida del proyecto.



## PARA LA PROPUESTA 2:

A diferencia de la anterior, la alternativa 2 incluye los siguientes costos en la inversión inicial:

Dispositivo	Costo (dls.)	Costo con IVA
Bomba de extrusión	2857.76	3286.424
plantilla	1102.03	1267.3345
Dispensador	550.94	633.581
ingeniería	1416	1628.4
Agujas	48.68	55.982
	<b>Total</b>	6,871.72
	<b>Flete</b>	900
	<b>Total</b>	<b>7,771.72</b>

Figura 5.10  
Inversión de la Alternativa 2

El costo de la inversión inicial es menor que la alternativa 1, aunque la diferencia no es muy grande. Lo que destaca de esta alternativa es el costo de la bomba de extrusión y de la plantilla. Por su parte, las agujas son las mismas que se utilizarían en la alternativa 1 y el dispensador no representa un costo muy elevado.

Una vez teniendo el cálculo de la inversión inicial, los resultados obtenidos con base en ésta son los siguientes:

<b>VPN</b>	-3782.64806
<b>TIR</b>	11%
<b>PRIA</b>	6.6923017

Figura 5.11  
Resultados de la Evaluación

A pesar de que la inversión es menor, la TIR obtenida es menor que la Tasa de descuento, por lo que una vez más esta evaluación económica nos indica que no se debe invertir en esta alternativa ya que no se obtendrá una ganancia real y es por eso que el VPN es negativo. Al mismo tiempo se observa que la recuperación de la inversión inicial sería después del sexto año.

## PARA LA PROPUESTA 3:

Para esta alternativa el costo del equipo es mucho menor como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Dispositivo	Costo (dls.)	Costo con IVA
Cargador de jeringa manual	331.67	381.4205
Pistón neumático	99.9	114.885
Dispensador con pedal	550.94	633.581
Ingeniería	1416	1628.4
Agujas	48.68	55.982
	<b>Total</b>	2,814.27
	<b>Flete</b>	900
	<b>Total</b>	<b>3,714.27</b>

Figura 5.12  
Inversión de la Alternativa 3

El costo del cargador y del pistón es mucho menor comparado con el equipo utilizado en las alternativas anteriores. En lo que respecta al dispensador, como fue mencionado, es el mismo que ya se tiene en la planta pero se incluye dentro de la inversión inicial como parte del equipo a utilizar en esta opción. Las agujas siguen siendo las mismas utilizadas en las alternativas anteriores.

Una vez teniendo la inversión para la alternativa 3 se observa que:

VPN	14272.88894
TIR	46%
PRIA	2.4580335

Figura 5.13  
Resultados de la Evaluación

En primer lugar la TIR es mayor a la Tasa de descuento por lo que se puede concluir que esta opción es viable, es decir que se puede invertir en ella ya que nos traerá una ganancia. Ésta se ve reflejada en el VPN, ya que además que es un valor positivo, nos dice que será de 14272.88 dólares al final de la vida del proyecto (es decir después de los 10 años) reflejado al valor del dinero en el presente.

Por otra parte, al analizar la PRIA se resume que la inversión inicial se recuperaría después de los 2 primeros años de vida del proyecto.



PARA LA PROPUESTA 4:

Esta última alternativa incluye al robot scara entre sus componentes, por lo tanto la inversión inicial es muy costosa como se puede ver:

Dispositivo	Costo (dls.)	Costo con IVA
Cargador y accesorios	200	230
Scara	22775.36	26191.664
Dispensador mecánico	1600	1840
ingeniería	1416	1628.4
Agujas	48.68	55.982
<b>Total</b>		<b>29,946.05</b>
<b>Flete</b>		<b>900</b>
<b>Total</b>		<b>30,846.05</b>

Figura 5.14  
Inversión de la Alternativa 4

El tipo de aguja es el mismo que el empleado en todas las alternativas y el dispensador no representa un gran gasto. No obstante el costo del robot es muy elevado que echa por tierra los bajos costos de los demás dispositivos.

Desde este punto se puede estimar que ya que la diferencia de esta alternativa en comparación con las anteriores es muy grande, los costos se elevan demasiado y por lo tanto esta opción es poco recomendable.

Teniendo como antecedente la inversión, después de los cálculos correspondientes se obtuvieron los siguientes resultados:

VPN	-106462.659
TIR	~0
PRIA	37.2593871

Figura 5.15  
Resultados de la Evaluación

Aquí se tienen muchas observaciones; la primera es que la TIR es aproximadamente cero por lo que de entrada este análisis nos dice que esta opción debe de ser descartada de antemano ya que los gastos superan a las ganancias, como se puede constatar en el VPN. Éste es negativo y su valor es de más de -106462.659 dólares. Por otra parte, la PRIA nos dice que la inversión nunca se recupera en toda la vida del proyecto.

Por lo tanto se recomienda que esta alternativa no debe ser tomada en cuenta ya que aunque el proceso se puede automatizar totalmente, el costo es muy elevado.



### CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

Como el análisis lo determinó, la mejor opción económicamente hablando es la 3, ya que se establece una ganancia neta al final del período. Por otra parte, las ganancias por año son significativamente buenas y la inversión se recupera después del segundo año sin ningún problema. Asimismo, el costo de la inversión inicial no es muy elevado, tomando en cuenta que es equipo de alta calidad y precisión.

Las alternativas 1 y 2 son buenas técnicamente, pero económicamente hablando son riesgosas en su inversión, ya que si bien se puede observar que existen ganancias por año, en realidad se tiene una pérdida por lo que no tiene caso que se invierta en un equipo que, si bien es de muy buena calidad y ayudará a elevar la producción, los costos también se elevarán y al final no se tendrá un resultado positivo. Además, en ambos casos, la inversión se recuperaría después de la mitad del período, esto es mucho tiempo si se tiene en cuenta la duración de la vida útil del proyecto.

En cuanto a la cuarta y última alternativa, es demasiado costosa y su inversión jamás se recuperaría. Por lo que definitivamente se aconseja no tomarla en cuenta. Quizás sea la más adecuada técnicamente, con los mejores resultados, pero económicamente no sirve.

A continuación se muestra el tiempo total de ensamble con la estación incluida y sus tiempos, así como el costo de mano de obra.

## Tiempo total de ensamble incluyendo estación de engrasado

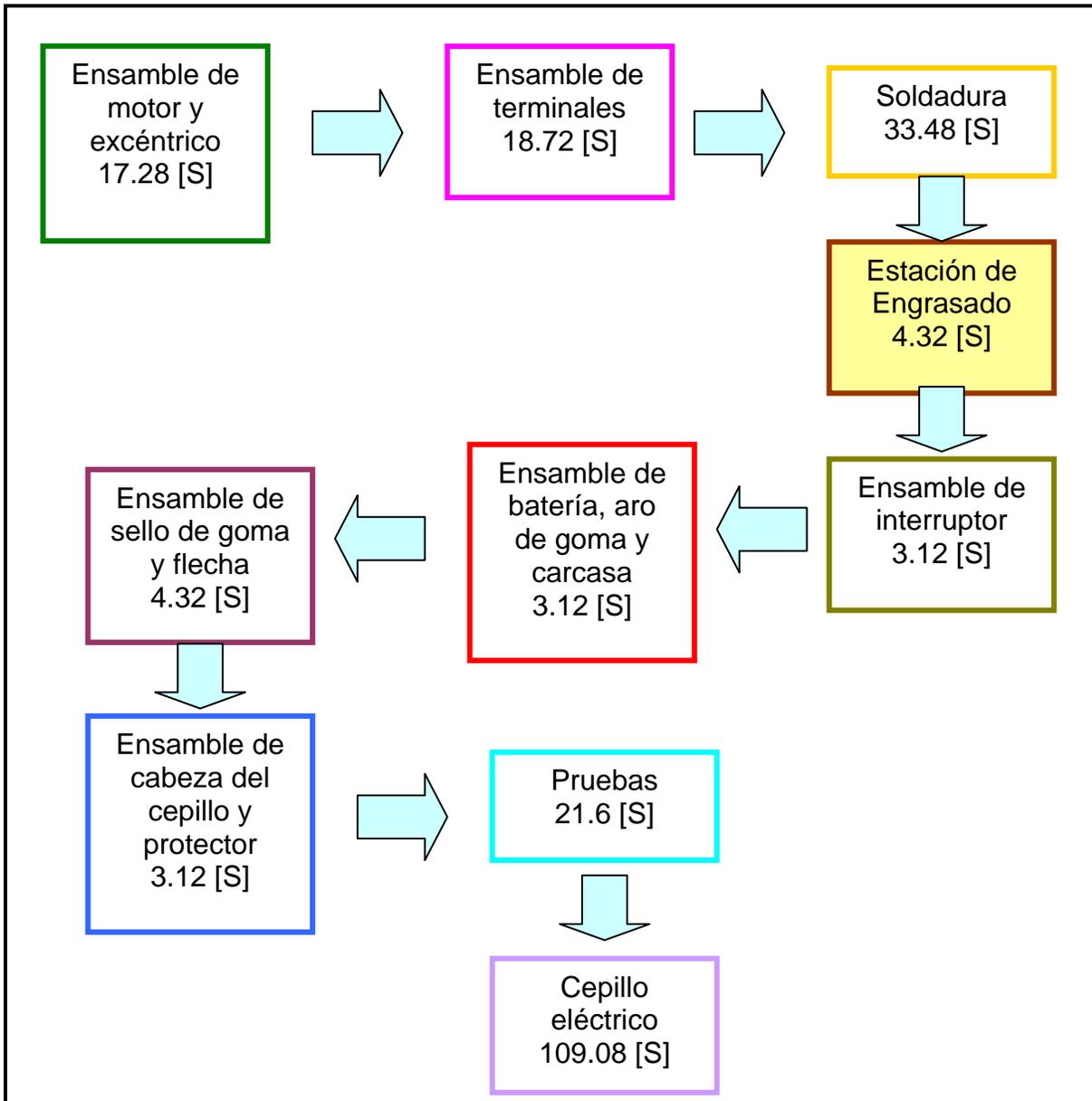


Figura 5.15  
Diagrama de actividades y sus tiempos



## EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS



Actividad	Tiempo promedio unitario [s]	Tiempo promedio unitario acumulado [s]	Tiempo promedio del número de partes por actividad [s/parte]	Tiempo promedio del número de partes por actividad acumulado	*Costo por segundo [€]	Costo unitario [€/s]	Costo por actividad [€/s]
Ensamble de motor y excéntrico	4.32	4.32	17.28	17.28	0.000408	0.001764	0.007056
Ensamble de terminales	3.12	7.44	18.72	36	0.000408	0.001274	0.007644
Soldadura	5.58	13.02	33.48	69.48	0.000408	0.002279	0.013671
Engrasado	4.32	4.32	4.32	73.8	0.000408	0.001764	0.001764
Ensamble de interruptor	3.12	7.44	3.12	76.92	0.000408	0.001274	0.001274
Ensamble de sello de goma y flecha	4.32	11.76	4.32	81.24	0.000408	0.001764	0.001764
Ensamble de batería, aro de goma y carcasa	3.12	14.88	3.12	84.36	0.000408	0.001274	0.001274
Ensamble de cabeza del cepillo y protector	3.12	18	3.12	87.48	0.000408	0.001274	0.001274
Pruebas	4.32	22.32	21.6	109.08	0.000408	0.001764	0.008820
					Costo total	0.014431	0.044541

Figura 5.16  
Costo de mano de obra con estación de engrasado



### **Resultados**

La aplicación del análisis de Boothroyd nos permitió detectar las áreas de oportunidad para mejorar el proceso de ensamble (siendo éstas la soldadura, el engrasado y las terminales eléctricas) y la aplicación del Estudio de Tiempos y Movimientos nos permitió corroborar que estas actividades consumían el mayor tiempo durante el proceso de ensamble. Y, por tanto, representaban una limitante en la producción.

La actividad en la que trabajamos es el engrasado, en un principio se propuso eliminarla y se realizó una prueba de desgaste del encendido / apagado. Aparentemente el desgaste presentado era mínimo, pero la empresa realizó una prueba similar sólo que aquí sí se observó un desgaste en los bordes del chasis.

Por esta razón se diseñó una estación que realiza la aplicación simultánea de grasa a un rack de 6 cepillos (18 puntos) en el mismo tiempo que antes se ocupaba sin estación para un solo cepillo (3 puntos).

El diseño de la estación es una de las partes más importantes dentro del proyecto, ya que éste nos llevará a lograr los objetivos planteados al inicio de este trabajo.

La alternativa elegida cumple con los objetivos inicialmente establecidos, incrementar la producción y elevar la eficiencia del proceso.

El ensamble de un cepillo toma 35.34 segundos (sin la estación); por lo tanto la producción anual es de 1,833,616 cepillos. Con la estación de la alternativa elegida, el ensamble de un cepillo es de 31.74 seg., así que la producción anual es de 2,041,588 cepillos.

En cuanto a la eficiencia se logra elevarla un 18.98%, según el análisis de Boothroyd, cumpliendo así con otro de los objetivos de este trabajo, incrementar la eficiencia del proceso de ensamble.

Por otra parte el costo de producción sin estación es de 384,199.2 dólares, mientras que el costo de producción con la estación es de 320,695.2 dólares.

La mejor alternativa es la 3 técnica y económicamente, con la cual se incrementa la producción y su inversión es relativamente baja.

La producción se aumenta en un 11%, mientras que los costos de producción disminuyen un 17% aproximadamente.

A continuación se presenta el equipo final que se utilizará en la estación.

	<b>Obtención y llenado del depósito</b>	<b>Colocación del dosificador para inyectar</b>	<b>Dosificar grasa</b>	<b>Aplicar grasa</b>
<b>EQUIPO</b>	<p>Cargador de jeringa manual</p> 	<p>Pistón neumático</p> 	<p>Dosificador digital (equipo actualmente utilizado)</p> 	<p>Agujas inoxidables de precisión Agujas especiales</p> 
<b>PROVEEDOR</b>	<p>I &amp; J Fisnar Inc Dispensign.</p>	<p>Festo Pneumatic, S.A.</p>	<p>EFD Inc.</p>	<p>EFD Inc.</p>



### ***Diseño propuesto***

Retomando algunas de las características que solicitó el cliente, decidimos que el aspecto más importante es la aplicación simultánea de la grasa a los 18 puntos del cepillo. Nuestro grupo de trabajo decidió que un diseño sencillo y funcional de la estación de engrasado podría ser de la siguiente forma:

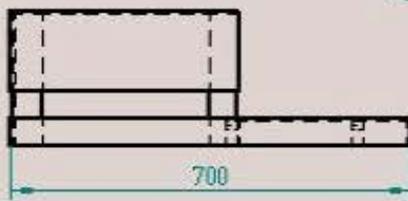
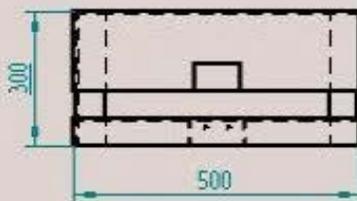
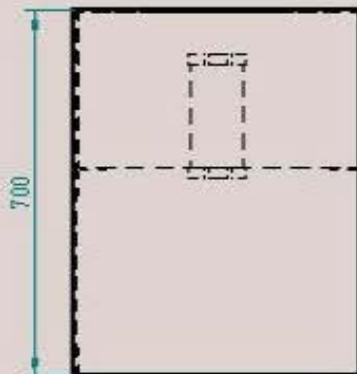
- Como deben incluirse los equipos que la empresa posee, entonces para lograr la cantidad de grasa para 18 puntos es necesario fabricar un distribuidor adecuado. Nuestra propuesta es que tenga 6 salidas, mismas que permitirán la conexión a las agujas de salida múltiple (triple). Los proveedores de las agujas y conexiones Luer Lock garantizan compatibilidad con los equipos de EFD.
- Al no existir vibraciones significativas, proponemos que la estructura tenga solo 4 soportes, que la base y la cubierta sean de lámina. Elegimos este material por ser económico y porque permite la sujeción entre elementos mediante tornillos estándar.
- Proponemos que el mecanismo para colocar en posición los cepillos y las agujas sea en dos partes. Para los cepillos utilizaríamos una corredera lineal con doble guía y bujes de bronce. Para las agujas que aplican la grasa en los soportes del interruptor utilizaríamos un pistón neumático de retorno automático.

Todos los equipos fueron investigados y se consiguen con facilidad en el país y sus costos fueron considerados a lo largo de todo el diseño.

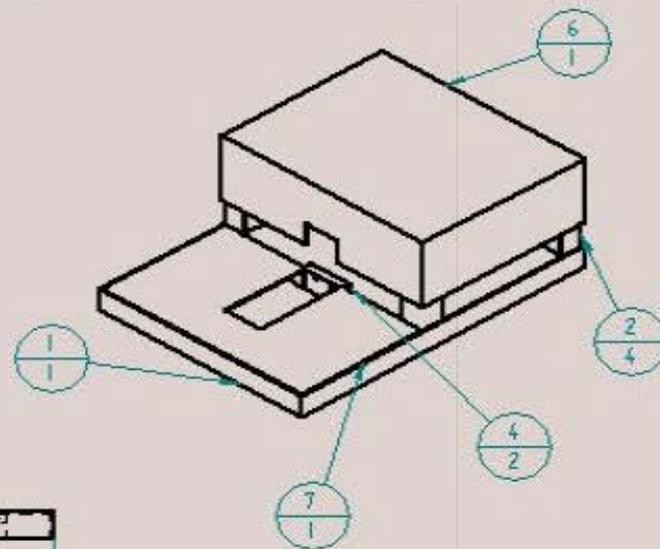
### **Funcionamiento**

Para operar la estación propuesta, los pasos que deben seguirse son:

- El operador toma el rack que viene del proceso de soldadura y lo coloca en el portarack.
- Utilizando la corredera lineal debe empujar el portarack hasta que los excéntricos del cepillo toquen las agujas frontales.
- Al llegar a esta posición, un interruptor activará al pistón. Las agujas superiores descenderán y se posicionaran en los soportes del interruptor.
- Un señal luminosa indicará que todas las agujas están en posición y el operador activará el dosificador mediante el interruptor de pedal.
- Al término de la aplicación, el pistón retorna a su posición inicial y el rack puede ser alejado con seguridad de las agujas.
- Se retira el rack y se pasa a la colocación del interruptor.

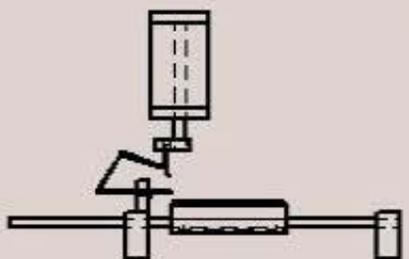
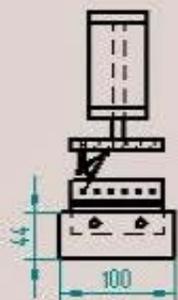
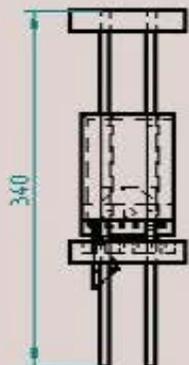


REVISION HISTORY			
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED

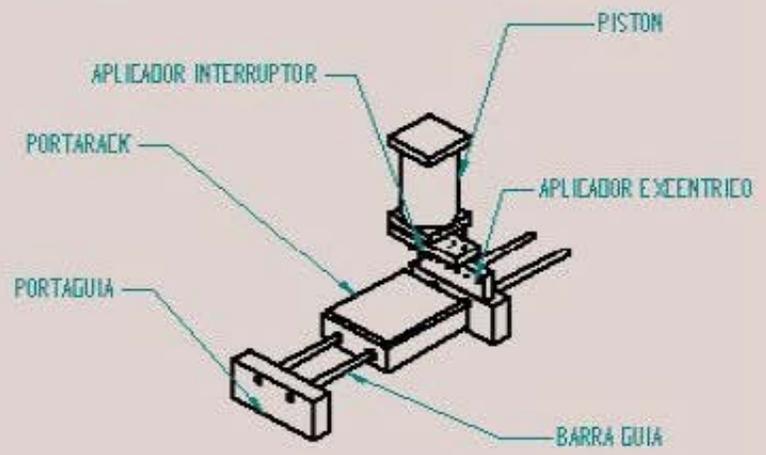


Item Number	TRs	Quantity
1	CONEXTO SÓPCOMA	1
2	SOPRAC. VERTICAL	4
4	PARAFUSO	2
6	CONEXTO SÓPCOMA	1
7	CONEXTO	1

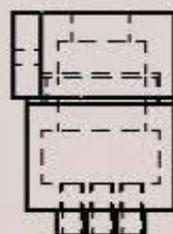
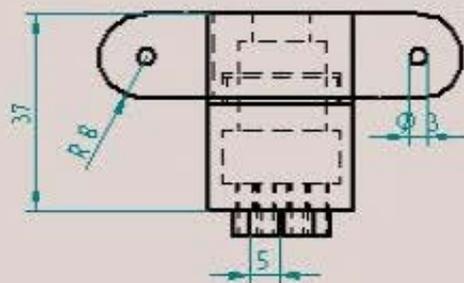
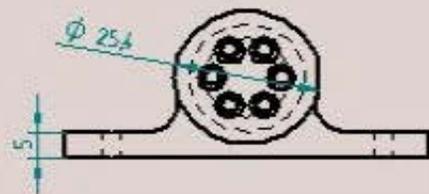
NAME	DATE	<b>SOLID EDGE</b>		
DRAWN	BRC	10/22/05	UGS - The PLM Company	
CHECKED			TITLE	
ENG APPR			ESTRUTURA	
MGR APPR			SIZE	REV
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES =XX° Z PL =XXX 3 PL =XXXX			AA	000
			DWG NO	100
FILE NAME: ESTACOR.dwg			SCALE:	WEIGHT:
			SHEET 1 OF 1	



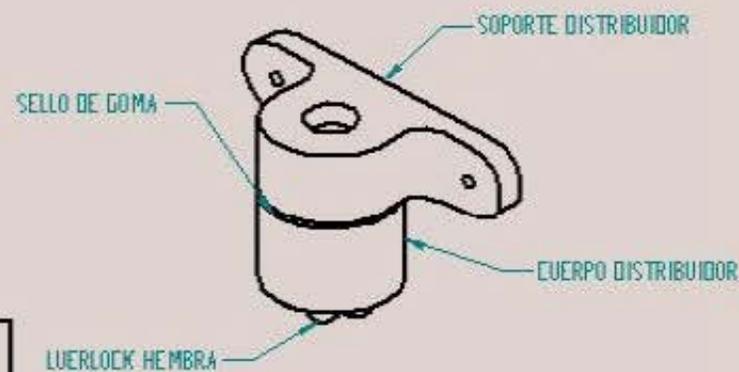
REVISION HISTORY			
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED



	NAME	DATE	<b>SOLID EDGE</b> <i>UGS - The PLM Company</i>		
DRAW	BRE	10/22/06			TITLE
CHECKED					MECANISMO POSE ORADOR
ENG APPR.					
MGR APPR.			SIZE	DWG NO	REV
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES =XX° 7 PI =XXX 3 PI =YYYY			A4	101	000
			FILE NAME: MECANISMO.d1t		
			SCALE:	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1



REVISION HISTORY			
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED



	NAME	DATE	<b>SOLID EDGE</b> UGS - The PLM Company		
DRAWN	BRE	10/22/06			TITLE
CHECKED					DISTRIBUIDOR DE GRASA
ENG APPR.					
MGR APPR.			SIZE A4	DWG NO 102	REV 000
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGLES =XX° 7 PI =XXXX 3 PI =XXXX			FILE NAME: DISTRIBUIDOR.dwt		
			SCALE:	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1



### **CONCLUSIONES**

Es evidente que al semiautomatizar un proceso de ensamble se logra una mejora en los tiempos que se refleja en el incremento de la producción y la reducción de sus costos, pero en muchas ocasiones se debe prescindir de los trabajadores empleados en la actividad que ahora hace la máquina.

Esto último fue un factor importante al momento de diseñar la estación de engrasado, ya que se logró semiautomatizar una parte de la celda sin desplazar a ningún trabajador.

Sin embargo, no siempre se consigue este equilibrio en la industria pues pocas se interesan por sus trabajadores y, desafortunadamente, si una industria quiere ser competitiva a nivel internacional debe crecer a la par de la tecnología, automatizando sus líneas de producción, ocasionando el desempleo.

En cuanto a la estación de engrasado, se obtuvo un diseño sencillo y económico, que cumple con las necesidades del cliente y con los estándares industriales, es decir, se cuidaron los aspectos de ergonomía, energía, eficiencia y seguridad, sin afectar el funcionamiento de la estación.

Para desarrollar el diseño es necesario pensar como fabricantes buscando un balance entre funcionalidad y estética, de esta manera se pueden incluir componentes comerciales que facilitan su adquisición y producción, reduciendo el uso del taller de mantenimiento de la empresa. Esta es una forma de disminuir los costos y el tiempo que transcurre entre la identificación del problema y la implementación del equipo funcionando.

El ingeniero siempre debe buscar el complemento a su formación en otras áreas, un ejemplo se ve en este trabajo, pues el equipo se integró bien al combinar la ingeniería industrial en aspectos de estudio del trabajo y diseño de productos, con la ingeniería mecánica en aspectos de diseño mecánico.



# Anexo 1 METODOLOGÍA BOOTHROYD

## Sistema de Clasificación para Manipulación

MANUAL HANDLING – ESTIMATED TIMES (seconds)

**Key:**

**ONE HAND**

		parts are easy to grasp and manipulate					parts present handling difficulties (1)					
		thickness > 2 mm		thickness ≤ 2 mm			thickness > 2 mm		thickness ≤ 2 mm			
		size > 15 mm	6 mm ≤ size ≤ 15 mm	size < 6 mm	size > 6 mm	size ≤ 6 mm	size > 15 mm	6 mm ≤ size ≤ 15 mm	size < 6 mm	size > 6 mm	size ≤ 6 mm	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
parts can be grasped and manipulated by one hand without the aid of grasping tools	$(\alpha + \beta) \leq 1360^\circ$	0	1.13	1.43	1.88	1.69	2.18	1.84	2.17	2.65	2.45	2.98
	$360^\circ \leq (\alpha + \beta) < 540^\circ$	1	1.5	1.8	2.25	2.06	2.55	2.25	2.57	3.06	3	3.38
	$540^\circ \leq (\alpha + \beta) < 720^\circ$	2	1.8	2.1	2.55	2.36	2.85	2.57	2.9	3.38	3.18	3.7
	$(\alpha + \beta) = 720^\circ$	3	1.95	2.25	2.7	2.51	3	2.73	3.06	3.55	3.34	4

**ONE HAND with GRASPING AIDS**

		parts need tweezers for grasping and manipulation								parts need standard tools other than tweezers	parts need special tools for grasping and manipulation	
		parts can be manipulated without optical magnification				parts require optical magnification for manipulation						
		parts are easy to grasp and manipulate		parts present handling difficulties (1)		parts are easy to grasp and manipulate		parts present handling difficulties (1)				
		thickness > 0.25 mm	thickness ≤ 0.25 mm	thickness > 0.25 mm	thickness ≤ 0.25 mm	thickness > 0.25 mm	thickness ≤ 0.25 mm	thickness > 0.25 mm	thickness ≤ 0.25 mm	8	9	
parts can be grasped and manipulated by one hand but only with the use of grasping tools	$0 \leq \beta \leq 180^\circ$	4	3.6	6.85	4.35	7.6	5.6	8.35	6.35	8.6	7	7
	$\beta = 360^\circ$	5	4	7.25	4.75	8	6	8.75	6.75	9	8	8
	$0 \leq \beta \leq 180^\circ$	6	4.8	8.05	5.55	8.8	6.8	9.55	7.55	9.8	8	9
	$\beta = 360^\circ$	7	5.1	8.35	5.85	9.1	7.1	9.55	7.85	10.1	9	10

**TWO HANDS for MANIPULATION**

		parts present no additional handling difficulties				parts present additional handling difficulties (e.g. sticky, delicate, slippery, etc.) (1)					
		$\alpha \leq 180^\circ$		$\alpha = 360^\circ$		$\alpha \leq 180^\circ$		$\alpha = 360^\circ$			
		size > 15 mm	6 mm ≤ size ≤ 15 mm	size < 6 mm	size > 6 mm	size ≤ 6 mm	size > 15 mm	6 mm ≤ size ≤ 15 mm	size < 6 mm	size > 6 mm	size ≤ 6 mm
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
parts severely nest or tangle or are flexible but can be grasped and lifted by one hand (with the use of grasping tools if necessary) (2)	8	4.1	4.5	5.1	5.6	6.75	5	5.25	5.85	6.35	7

**TWO HANDS required for LARGE SIZE**

		parts can be handled by one person without mechanical assistance								parts severely nest or tangle or are flexible (2)	two persons or mechanical assistance required for parts manipulation
		parts do not severely nest or tangle and are not flexible				parts are heavy (> 10 lb)					
		part weight < 10 lb		part weight > 10 lb		part weight < 10 lb		part weight > 10 lb			
		parts are easy to grasp and manipulate	parts present other handling difficulties (1)	parts are easy to grasp and manipulate	parts present other handling difficulties (1)	parts are easy to grasp and manipulate	parts present other handling difficulties (1)	parts are easy to grasp and manipulate	parts present other handling difficulties (1)	8	9
		$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	8	9
two hands, two persons or mechanical assistance required for grasping and transporting parts	9	2	3	2	3	3	4	4	5	7	9



En esta puede verse que el número de clasificación consiste en dos dígitos; cada dígito puede tomar un valor de 0 a 9. el primer dígito se divide en los siguientes cuatro grupos principales:

- I. Primer dígito de 0 – 3: piezas de tamaño y peso nominales que son fáciles de tomar y manipular con una mano (sin ayuda de herramientas)
- II. Primer dígito de 4 – 7: piezas que requieren herramientas de sujeción para tomarlas debido a su tamaño
- III. Primer dígito de 8: piezas que almacenadas en grandes cantidades presentan severo anidamiento o enredamiento
- IV. Primer dígito de 9: piezas que requieren ambas manos, dos personas o asistencia mecánica para su manipulación

Los grupos I y II a su vez están subdivididos en categorías que representan la cantidad de orientación requerida, basada en la simetría de la parte.

El segundo dígito del código de manipulación esta basado en la flexibilidad, deslizabilidad, adherencia, fragilidad y anidamiento de la pieza. El segundo dígito también depende del grupo al que pertenece el primer dígito de la siguiente manera:

- I. Para un primer dígito de 0 – 3: el segundo dígito clasifica el tamaño y espesor de la pieza.
- II. Para un primer dígito de 4 – 7: el segundo dígito clasifica el espesor de la pieza, el tipo de herramienta requerida para sujetar la pieza y la necesidad de amplificación óptica durante el proceso de manipulación.
- III. Para un primer dígito de 8: el segundo dígito clasifica el tamaño y simetría de la pieza.
- IV. Para un primer dígito de 9: el segundo dígito clasifica la simetría, el peso y que tanto pueden trabarse las piezas almacenadas en grandes cantidades.

## Sistema de Clasificación para inserción Manual y Sujeción

Este sistema se relaciona con la interacción entre piezas a unir, así como su contacto y como van juntas. La inserción y sujeción manual consiste en una variedad finita de tareas básicas de ensamble (clavija, atornillar, remachar, ajuste forzado, etc.) que son comunes en la mayoría de los productos manufacturados. Las características de diseño que afectan significativamente los tiempos de inserción y sujeción manual son:



- Accesibilidad de la pieza al lugar de ensamble
- Facilidad para operar la herramienta de ensamble
- Visibilidad de donde va a ensamblarse
- Facilidad de alineación y posicionado durante el ensamble
- Profundidad de inserción

El sistema de clasificación correspondiente, sus definiciones asociadas y tiempos estándar se presentan en la siguiente tabla:



# ANEXOS



## MANUAL INSERTION – ESTIMATED TIMES (seconds)

		after assembly no holding down required to maintain orientation and location (3)				holding down required during subsequent processes to maintain orientation or location (3)				
		easy to align and position during assembly (4)		not easy to align or position during assembly		easy to align and position during assembly (4)		not easy to align or position during assembly		
		no resistance to insertion	resistance to insertion (5)	no resistance to insertion	resistance to insertion (5)	no resistance to insertion	resistance to insertion (5)	no resistance to insertion	resistance to insertion (5)	
		0	1	2	3	6	7	8	9	
<p>addition of any part (1) where neither the part itself nor any other part is finally secured immediately</p> <p>part and associated tool (including hands) can easily reach the desired location</p>		0	1.5	2.5	2.5	3.5	5.5	6.5	6.5	7.5
	due to obstructed access or restricted vision (2)	1	4	5	5	6	8	9	9	10
	due to obstructed access and restricted vision (2)	2	5.5	6.5	6.5	7.5	9.5	10.5	10.5	11.5
<p>addition of any part (1) where the part itself and/or other parts are finally secured immediately</p> <p>part and associated tool (including hands) can easily reach the desired location and the tool can be operated easily</p>		3	2	5	4	5	6	7	8	9
	due to obstructed access or restricted vision (2)	4	4.5	7.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5
	due to obstructed access and restricted vision (2)	5	6	9	8	9	10	11	12	13
<p>SEPARATE OPERATION</p> <p>assembly processes where all solid parts are in place</p>		9	4	7	5	3.5	7	8	12	12

**Anexo 2 ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS****Ensamble de terminales**

Hoja No: 2				Fecha: 24 05 05		
Proceso: Armado				Lugar: Celda 1		
Pieza: Cepillo eléctrico				Actividad: Ensamble de terminales		
Therblig Descripción	Therblig Sigla	Aplica en:	Forma	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3
Tomar	T	Sub 2	Manual	<b>3.14</b>	<b>3.12</b>	<b>3.10</b>
Mover	M	Sub 2	Manual			
Sostener	SO	Sub 2	Manual			
Tomar	T	Term 1	Manual			
Mover	M	Term 1	Manual			
Colocar en posición	P	Term 1	Manual			
Ensamblar	E		Manual			
Mover	M	Sub 3	Manual			
Soltar	SL	Sub 3	Manual			
Tomar	T	Sub 3	Manual			
Mover	M	Sub 3	Manual			
Sostener	SO	Sub 3	Manual			
Tomar	T	Term 2	Manual			
Mover	M	Term 2	Manual			
Colocar en posición	P	Term 2	Manual			
Ensamblar	E		Manual			
Mover	M	Sub 4	Manual			
Colocar en posición	P	Sub 4	Manual			
Soltar	SL	Sub 4	Manual			



## Ensamble con soldadura

Hoja No: 3				Fecha: 24 05 05		
Proceso: Armado				Lugar: Celda 1		
Pieza: Cepillo eléctrico				Actividad: Ensamble con soldadura		
Therblig Descripción	Therblig Sigla	Aplica en:	Forma	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3
Tomar	T	Rack	Manual	<b>5.57</b>	<b>5.56</b>	<b>5.61</b>
Mover	M	Rack	Manual			
Colocar en posición	P	Rack	Manual			
Soltar	SL	Rack	Manual			
Tomar	T	Dosificador	Manual			
Mover	M	Dosificador	Manual			
Colocar en posición	P	Dosificador	Manual			
Ensamblar	*E		Manual Dosificador			
Tomar	T	Rack Sub 5	Manual			
Colocar en posición	P	Rack Sub 5	Manual			
Soltar	SL	Rack Sub 5	Manual			
Ensamblar	*E		Manual Dosificador			
Tomar	T	Rack Sub 6	Manual			
Mover	M	Rack Sub 6	Manual			
Soltar	SL	Rack Sub 6	Manual			
*E: Ensamble con soldadura						



## Engrasado

Hoja No: 4				Fecha: 24 05 05		
Proceso: Armado				Lugar: Celda 1		
Pieza: Cepillo eléctrico				Actividad: Engrasado		
Therblig Descripción	Therblig Sigla	Aplica en:	Forma	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3
Tomar	T	Rack Sub 6	Manual	4.30	4.31	4.35
Mover	M	Rack Sub 6	Manual			
Colocar en posición	P	Rack Sub 6	Manual			
Soltar	SL	Rack Sub 6	Manual			
Tomar	T	Dosificador	Manual			
Mover	M	Dosificador	Manual			
Colocar en posición	P	Dosificador	Manual			
Ensamblar	**E		Manual Dosificador			
Tomar	T	Rack Sub 7	Manual			
Colocar en posición	P	Rack Sub 7	Manual			
Soltar	SO	Rack Sub 7	Manual			
Ensamblar	**E		Manual Dosificador			
Mover	M	Rack Sub 8	Manual			
Soltar	SL	Rack Sub 8	Manual			
				Tiempo promedio [S]	4.32	
**E: Ensamble, aplicación de grasa						



## Ensamble de interruptor

Hoja No: 5				Fecha: 24 05 05		
Proceso: Armado				Lugar: Celda 1		
Pieza: Cepillo eléctrico				Actividad: Ensamble de interruptor		
<b>Therblig Descripción</b>	<b>Therblig Sigla</b>	<b>Aplica en:</b>	<b>Forma</b>	<b>Tiempo 1</b>	<b>Tiempo 2</b>	<b>Tiempo 3</b>
Tomar	T	Rack	Manual	<b>3.14</b>	<b>3.09</b>	<b>3.13</b>
Mover	M	Rack	Manual			
Colocar en posición	P	Rack	Manual			
Sostener	SO	Rack	Manual			
Tomar	T	Interruptor	Manual			
Mover	M	Interruptor	Manual			
Colocar en posición	P	Interruptor	Manual			
Ensamblar	E		Manual			
Tomar	M	Rack Sub 9	Manual			
Soltar	SL	Rack Sub 9	Manual			
				Tiempo promedio [S]	<b>3.12</b>	



## Ensamble del sello de goma y la flecha

Hoja No: 6				Fecha: 24 05 05		
Proceso: Armado				Lugar: Celda 1		
Pieza: Cepillo eléctrico				Actividad: Ensamble del sello de goma y la flecha		
Therblig Descripción	Therblig Sigla	Aplica en:	Forma	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3
Tomar	T	Sello de goma	Manual	<b>4.28</b>	<b>4.32</b>	<b>4.36</b>
Sostener	SO	Sello de goma	Manual			
Tomar	T	Sub 9	Manual			
Colocar en posición	P	Sello en Sub 9	Manual			
Ensamblar	E		Manual			
Tomar	T	Flecha	Manual			
Sostener	SO	Flecha	Manual			
Tomar	T	Sub 10	Manual			
Colocar en posición	P	Flecha y sub 10	Manual			
Mover	M	Flecha y sub 10	Manual			
Soltar	SL	Flecha y sub 10	Manual			
Ensamblar	E		Manual Prensa			
Tomar	T	Sub 11	Manual			
Mover	M	Sub 11	Manual			
Soltar	SL	Sub 11	Manual			



## Ensamble de batería, aro de goma y carcasa.

Hoja No: 7				Fecha: 24 05 05			
Proceso: Armado				Lugar: Celda 1			
Pieza: Cepillo eléctrico				Actividad: Ensamble de batería, aro de goma y carcasa			
Therblig Descripción	Therblig Sigla	Aplica en:	Forma	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	
Tomar	T	Batería	Manual	<b>2.98</b>	<b>3.25</b>	<b>3.13</b>	
Mover	M	Batería	Manual				
Sostener	SO	Batería	Manual				
Tomar	T	Sub 11	Manual				
Mover	M	Sub 11	Manual				
Colocar en posición	P	Batería en Sub 11	Manual				
Ensamblar	E		Manual				
Tomar	T	Sub 12	Manual				
Mover	M	Sub 12	Manual				
Sostener	SO	Sub 12	Manual				
Tomar	T	Aro de goma	Manual				
Mover	M	Aro de goma	Manual				
Colocar en posición	P	Aro de goma	Manual				
Ensamblar	E		Manual				
Tomar	T	Sub 13	Manual				
Sostener	SO	Sub 13	Manual				
Tomar	T	Carcasa	Manual				
Colocar en posición	P	Carcasa y Sub 13	Manual				
Ensamblar	E		Manual				
Tomar	T	Sub 14	Manual				
Mover	M	Sub 14	Manual				
Soltar	SL	Sub 14	Manual				
				Tiempo promedio [S]	<b>3.12</b>		



## Ensamble de cabeza y protector

Hoja No: 8				Fecha: 24 05 05		
Proceso: Armado				Lugar: Celda 1		
Pieza: Cepillo eléctrico				Actividad: Ensamble de cabeza y protector		
Therblig Descripción	Therblig Sigla	Aplica en:	Forma	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3
Tomar	T	Sub 14	Manual	<b>3.15</b>	<b>3.16</b>	<b>3.05</b>
Sostener	SO	Sub 14	Manual			
Tomar	T	Colocar cabeza del cepillo	Manual			
Colocar en posición	P	Cabeza y Sub 14	Manual			
Ensamblar	E		Manual			
Tomar	T	Sub 15	Manual			
Mover	M	Sub 15	Manual			
Sostener	SO	Sub 15	Manual			
Tomar	T	Protector de cabeza	Manual			
Mover	M	Protector de cabeza	Manual			
Colocar en posición	P	Protector y Sub 15	Manual			
Ensamblar	E		Manual			
Tomar	T	Cepillo	Manual			
Mover	M	Cepillo	Manual			
Soltar	SL	Cepillo	Manual			



## Pruebas

Hoja No: 9				Fecha: 24 05 05		
Proceso: Armado				Lugar: Celda 1		
Pieza: Cepillo eléctrico				Actividad: Pruebas		
Therblig Descripción	Therblig Sigla	Aplica en:	Forma	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3
Seleccionar	SE	Cepillos (5 por lote)	Manual	<b>4.25</b>	<b>4.36</b>	<b>4.35</b>
Tomar	T	Cepillos (5 por lote)	Manual			
Mover	M	Cepillos (5 por lote)	Manual			
Colocar en posición	P	Cepillos (5 por lote)	Manual			
Soltar	SL	Cepillos (5 por lote)	Manual			
Usar	U	Máquina de pruebas				
Tomar	T	Cepillos (5 por lote)	Manual			
Mover	M	Cepillos (5 por lote)	Manual			
Sostener	SO	Cepillos (5 por lote)	Manual			
Inspeccionar	I	Cepillos (5 por lote)	Visual			
Soltar	SL	Cepillos (5 por lote)	Manual			



### Anexo 3 ESCENARIOS DEL ANÁLISIS DE BOOTHROYD

#### Escenario 1: Ensamble sin soldadura

1 Número de parte	2 Número de veces que se realiza la operación	3 Código de manipulación	4 Tiempo de manipulación	5 Código de inserción	6 Tiempo de inserción	7 Tiempo de operación	8 Costo de operación	9 Número mínimo de partes	10 Nombre
1	1	30	1.95	30	2	3.95	-	1	Carcasa
2	1	30	1.95	31	5	6.95	-	1	Motor
3	1	33	2.51	00	1.5	4.01	-	1	Terminal (-)
4	1	31	2.25	30	2	4.25	-	1	Terminal (+)
5	2	88	6.35	99	12	18.35	-	1	Grasa
6	1	31	1.95	31	5	6.95	-	1	Interruptor

Eficiencia = $[3(NM)/(TM)]$		TM = 44.46	NM = 6
Eficiencia =	<b>40.49%</b>		

En este escenario eliminamos la soldadura, que como ya habíamos mencionado, era susceptible a ello por tener uno de los tiempos más elevados del proceso. Esta actividad se eliminó con todo y su tiempo, pensando en que se pudiera suprimir totalmente del proceso. Los valores del tiempo y el número de partes bajan, por lo tanto la eficiencia se incrementa de forma notoria.



## Escenario 2: Ensamble sin grasa

1 Número de parte	2 Número de veces que se realiza la operación	3 Código de manipulación	4 Tiempo de manipulación	5 Código de inserción	6 Tiempo de inserción	7 Tiempo de operación	8 Costo de operación	9 Número mínimo de partes	10 Nombre				
1	1	30	1.95	30	2	3.95	-	1	Carcasa				
2	1	30	1.95	31	5	6.95	-	1	Motor				
3	1	33	2.51	00	1.5	4.01	-	1	Terminal (-)				
4	1	31	2.25	30	2	4.25	-	1	Terminal (+)				
5	2	88	6.35	95	8	14.35	-	1	Soldadura				
6	1	31	1.95	31	5	6.95	-	1	Interruptor				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">Eficiencia = <math>[3(NM)/(TM)]</math></td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">TM = 40.46</td> <td style="padding: 2px 10px;">NM = 6</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>										Eficiencia = $[3(NM)/(TM)]$	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">TM = 40.46</td> <td style="padding: 2px 10px;">NM = 6</td> </tr> </table>	TM = 40.46	NM = 6
Eficiencia = $[3(NM)/(TM)]$	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">TM = 40.46</td> <td style="padding: 2px 10px;">NM = 6</td> </tr> </table>	TM = 40.46	NM = 6										
TM = 40.46	NM = 6												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; padding: 5px;">Eficiencia =</td> <td style="width: 80%; padding: 5px; text-align: center;"><b>44.49%</b></td> </tr> </table>										Eficiencia =	<b>44.49%</b>		
Eficiencia =	<b>44.49%</b>												

Al igual que en el escenario 2, aquí suprimimos otra de las actividades del proceso con mayor tiempo, la cual es el engrasado, observamos que al hacer esto la eficiencia se eleva todavía más que al eliminar la soldadura, esto porque el tiempo es menor aunque el número de partes es igual que en el escenario 2.



## Escenario 3: Ensamble sin soldadura y sin grasa

1 Número de parte	2 Número de veces que se realiza la operación	3 Código de manipulación	4 Tiempo de manipulación	5 Código de inserción	6 Tiempo de inserción	7 Tiempo de operación	8 Costo de operación	9 Número mínimo de partes	10 Nombre						
1	1	30	1.95	30	2	3.95	-	1	Carcasa						
2	1	30	1.95	31	5	6.95	-	1	Motor						
3	1	33	2.51	00	1.5	4.01	-	1	Terminal (-)						
4	1	31	2.25	30	2	4.25	-	1	Terminal (+)						
5	1	31	1.95	31	5	6.95	-	1	Interruptor						
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Eficiencia = <math>[3(NM)/(TM)]</math></td> <td style="width: 50%; text-align: center;"> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">TM = 26.11</td> <td style="width: 50%;">NM = 5</td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td style="width: 20%;">Eficiencia =</td> <td style="width: 80%; text-align: center;"><b>57.45%</b></td> </tr> </table>										Eficiencia = $[3(NM)/(TM)]$	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">TM = 26.11</td> <td style="width: 50%;">NM = 5</td> </tr> </table>	TM = 26.11	NM = 5	Eficiencia =	<b>57.45%</b>
Eficiencia = $[3(NM)/(TM)]$	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">TM = 26.11</td> <td style="width: 50%;">NM = 5</td> </tr> </table>	TM = 26.11	NM = 5												
TM = 26.11	NM = 5														
Eficiencia =	<b>57.45%</b>														

En este último escenario se eliminan las dos actividades junto con sus tiempos, de esta manera el tiempo baja considerablemente y el número de partes se reduce a cinco, con esto tenemos una eficiencia de más del doble que la actual. Esto nos indica que efectivamente se tiene que trabajar en estas dos actividades para reducir o eliminar sus tiempos, lo ideal sería eliminarlos para lograr la eficiencia presentada en esta tabla.



## ANEXOS



### *Anexo 4 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS*

Alternativa 1:

Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	24,919.90										
Mantenimiento		1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00
Depreciación		2,221.99	2,221.99	2,221.99	2,221.99	2,221.99	2,221.99	2,221.99	2,221.99	2,221.99	2,221.99
Beneficio por cambio		7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82
Flujo	- 24,919.90	3,880.83	3,880.83	3,880.83	3,880.83	3,880.83	3,880.83	3,880.83	3,880.83	3,880.83	3,880.83
Flujo descontado	- 24,919.90	3,345.54	2,884.09	2,486.28	2,143.35	1,847.71	1,592.85	1,373.15	1,183.75	1,020.47	879.72
Flujo descontado acumulado	- 24,919.90	- 21,574.36	- 18,690.27	- 16,203.99	- 14,060.65	- 12,212.94	- 10,620.08	- 9,246.93	- 8,063.18	- 7,042.70	- 6,162.99

Alternativa 2:

Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	23,315.16										
Mantenimiento		1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00
Depreciación		2,061.52	2,061.52	2,061.52	2,061.52	2,061.52	2,061.52	2,061.52	2,061.52	2,061.52	2,061.52
Beneficio por cambio		7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82
Flujo	- 23,315.16	4,041.30	4,041.30	4,041.30	4,041.30	4,041.30	4,041.30	4,041.30	4,041.30	4,041.30	4,041.30
Flujo descontado	- 23,315.16	3,483.88	3,003.34	2,589.09	2,231.97	1,924.11	1,658.72	1,429.93	1,232.70	1,062.67	916.10
Flujo descontado acumulado	- 23,315.16	- 19,831.29	- 16,827.94	- 14,238.85	- 12,006.88	- 10,082.77	- 8,424.05	- 6,994.11	- 5,761.42	- 4,698.74	- 3,782.65

Alternativa 3:

Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	11,142.81										
Mantenimiento		1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00
Depreciación		844.28	844.28	844.28	844.28	844.28	844.28	844.28	844.28	844.28	844.28
Beneficio por cambio		7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82
Flujo	- 11,142.81	5,258.53	5,258.53	5,258.53	5,258.53	5,258.53	5,258.53	5,258.53	5,258.53	5,258.53	5,258.53
Flujo descontado	- 11,142.81	4,533.22	3,907.95	3,368.92	2,904.24	2,503.66	2,158.32	1,860.62	1,603.99	1,382.75	1,192.02
Flujo descontado acumulado	- 11,142.81	- 6,609.59	- 2,701.64	- 667.28	- 3,571.52	- 6,075.18	- 8,233.51	- 10,094.13	- 11,698.12	- 13,080.87	- 14,272.89

Alternativa 4:

Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	92,538.14										
Mantenimiento		1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00	1,800.00
Depreciación		8,983.81	8,983.81	8,983.81	8,983.81	8,983.81	8,983.81	8,983.81	8,983.81	8,983.81	8,983.81
Beneficio por cambio		7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82	7,902.82
Flujo	- 92,538.14	2,881.00	2,881.00	2,881.00	2,881.00	2,881.00	2,881.00	2,881.00	2,881.00	2,881.00	2,881.00
Flujo descontado	- 92,538.14	2,483.62	2,141.05	1,845.73	1,591.15	1,371.68	1,182.48	1,019.38	878.78	757.57	653.08
Flujo descontado acumulado	- 92,538.14	- 95,021.76	- 97,162.81	- 99,008.54	- 100,599.69	- 101,971.37	- 103,153.86	- 104,173.24	- 105,052.02	- 105,809.58	- 106,462.66





## *Fuentes de información*

### **Bibliográficas**

- **Uriegas** Torres, Carlos. “Análisis económico de sistemas en la ingeniería”, ed. Limusa, México, 1987
- **Gómez** Senet, Eliseo. “Las fases del proyecto y su metodología”, ed. Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de publicaciones España, 1992
- **Niebel** Benjamín W. “Ingeniería Industrial: Estudio de tiempos y movimientos”, ed. Alfaomega, México, 1970, 3ª edición.
- **Aguayo** González, Francisco. “Metodología del diseño industrial : un enfoque desde la ingeniería concurrente”, ed. Alfaomega, México, 2003
- **Cross**, Nigel. “Métodos de diseño : estrategias para el diseño de productos”, ed. Limusa, México, 1999
- **Boothroyd**, Geoffrey. “Product design for manufacture and assembly”, ed. M. Dekker, New York, 2002, 2ª edición
- **Pahl**, Gerhard. “Engineering design : a systematic approach”, ed. Springer, London, 1996
- **ASM Handbook**, Vol. 18, “Friction, Lubrication and Wear Technology”, USA, 1998
- **Annual Book of ASTM Standards**, Vol. 05.01, “Petroleum Products, Lubricants and Fossil Fuel”, Easton, USA, 2000



## Páginas electrónicas

- <http://www.bancomext.gob.mx/> *Información económica del sector manufacturero.*
- <http://www.apiro.com/apiro/lubricantes.htm> *Denominación según DIN 51825, clases de grasa lubricante y rango de temperatura.*
- <http://www.interaccess.cl/avl/aman.htm> *Sistemas de medida para dosificación manual.*
- <http://www.ijfisnar.com/spain/default.asp> *Equipos automáticos de dosificación de fluidos.*
- <http://www.economicas-online.com/bienesde5.htm> *Cálculo de la depreciación.*
- [http://www.bechem-spb.ru/s\\_ceritol\\_pk.shtml](http://www.bechem-spb.ru/s_ceritol_pk.shtml) *Propiedades físicas de la grasa ceritol pk1.*
- <http://dgcnesyp.inegi.gob.mx/> *Información de todos los sectores económicos, los precios y el comercio exterior.*
- <http://www.efd-inc.com/> *Diseño para manufactura y ensamble.*
- <http://eureka.ya.com/1770882/> *Componentes neumáticos y dosificadores.*
- <http://www.gpreeves.com/greaseindex.html> *Dispensadores de grasa.*
- <http://www.uom.edu.mx/hoja/hojob41.htm> *Los verdaderos generadores de divisas en el país; los trabajadores de México.*
- <http://www.klueber.com/> *Lubricación aceites y grasas.*
- <http://www.itlp.edu.mx/publica/tutoriales/produccion1/index.htm> *Información sobre la administración de la producción.*
- <http://www.crandall.com/spanish/piston.html> *Llenadoras a pistón.*
- <http://www.cideiber.com/infopaises/Mexico/Mexico-05-01.html> *Actividades del sector secundario.*
- <http://www.lubriservis.com/index.htm> *Importancia de la lubricación.*
- <http://www.devcorp.com/> *Sistemas de lubricación.*
- <http://internal.dstm.com.ar/sites/mm/notas/lubmejores.asp> *Prácticas de lubricación*