

01173

7



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



T E S I S

REDISEÑO PARA DESENSAMBLE DE UNA  
BOMBA TIPO ESTRELLA  
CONSIDERANDO SU CICLO DE VIDA

PRESENTADA POR:

ALEJANDRO FLORES CALDERÓN, ING.

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
(ÁREA DISEÑO)

DIRIGIDA POR:

DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

---

**REDISEÑO PARA DESENSAMBLE DE UNA  
BOMBA TIPO ESTRELLA  
CONSIDERANDO SU CICLO DE VIDA**

---

*QUIERO AGRADECER TAMBIÉN A TODAS LAS PERSONAS QUE  
LABORAN EN EL CENTRO DE DISEÑO Y MANUFACTURA (CDM), POR  
SU COMPAÑERISMO Y APOYO.*

---

## RESUMEN

---

En la última década se han hecho muchos cuestionamientos de cómo el hombre, a través de sus sociedades, se relaciona con la naturaleza y se encuentra con la necesidad de que esta relación cambie en un sentido positivo. Con esto, se han planteando nuevas formas de desarrollo en las que se incluyen aspectos del llamado desarrollo sustentable.

Los principios del desarrollo sustentable también han influenciado a la ingeniería mecánica, de tal forma que el diseño de los productos, el de sus procesos y el de sus servicios no dañen al medio ambiente. Esta forma de diseñar productos, procesos y servicios se le ha llamado diseño del ciclo de vida del producto.

Entonces, es importante que los ingenieros, en particular los ingenieros mecánicos, entiendan los principios del desarrollo sustentable, ya que cada vez más los requerimientos y especificaciones de diseño tienen como trasfondo los principios del desarrollo sustentable.

Así, en esta tesis, se plantean los principios del desarrollo sustentable con los que se están diseñando o rediseñando los productos actualmente, así mismo, se explora una de las técnicas de diseño que más recientemente han surgido y que ha tenido un alto desarrollo, esto es, el diseño para desensamble. Entonces, con los principios del desarrollo sustentable y aplicando diseño para desensamble, es como se hace la propuesta del rediseño de una bomba de desplazamiento positivo tipo estrella.

En la tesis se plantea un plan de trabajo que consiste en describir, analizar, evaluar y decidir. Se hace una descripción de todas las etapas por las que pasa una bomba tipo estrella y se analiza, evalúa y decide únicamente considerando las etapas de mantenimiento y reciclaje con la técnica de diseño para desensamble. Esto es, se analiza con el método de Kosuke Ishii (Ishii 1996), llamado diagrama de espina de pescado en sentido inverso; y se evalúa con el método de Ehud Kroil (Kroil 1998) llamado carta de evaluación para desensamble.

El aplicar los principios y los métodos antes mencionados; nos llevan a la propuesta del rediseño para desensamble de la bomba en la que se obtiene, una disminución del número de partes de 17 a 11, de componentes de 27 a 11 y una reducción en el tiempo de desensamble (aproximado) de 124 seg. a 66 seg.

---

# ÍNDICE

Pag.

RESUMEN.....	I
ÍNDICE.....	II
INTRODUCCIÓN.....	IV
OBJETIVO Y PLAN DE TRABAJO.....	V

## CAPÍTULO 1

### CONCEPTOS BÁSICOS

1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	DESARROLLO SUSTENTABLE.....	2
1.2.1	COMUNIDAD SUSTENTABLE.....	4
1.2.2	DISEÑO SUSTENTABLE DEL PRODUCTO.....	6
1.3	DISEÑO DEL CICLO DE VIDA.....	8
1.3.1	NECESIDAD DE NUEVAS TECNOLOGIAS.....	12
1.4	INGENIERÍA CONCURRENTE EN EL DISEÑO DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO.....	14
1.5	DISEÑO PARA DESENSAMBLE.....	17

## CAPÍTULO 2

### DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE VIDA DE LA BOMBA

2.1	INTRODUCCIÓN.....	22
2.2	DESCRIPCIÓN DE LA BOMBA.....	23
2.2.1	PRINCIPIOS DE OPERACIÓN DE LA BOMBA.....	24
2.3	DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE VIDA DE LA BOMBA.....	26
2.3.1	DISEÑO: CONCEPTUALIZACIÓN, DESARROLLO Y REFINAMIENTO DEL DISEÑO.....	27
2.3.2	MANUFACTURA: PLAN DE MANUFACTURA .....	29
2.3.3	ENSAMBLE: VERIFICACIÓN Y ESQUEMA DE ENSAMBLE.....	34
2.3.4	PRUEBAS AL PRODUCTO (FUNCIONAMIENTO Y CALIDAD).....	36
2.3.5	USO Y OPERACIÓN DE LA BOMBA.....	38
2.3.5.1	RECOMENDACIONES DE LA EMPRESA EN INSTALACION Y OPERACIÓN.....	40
2.3.6	MANTENIMIENTO Y SERVICIO DE LA BOMBA.....	43
2.3.6.1	RECOMENDACIONES DE LA EMPRESA EN MANTENIMIENTO Y SERVICIO DE LA BOMBA.....	43

2.3.6.1.1	POSIBLE FALLAS Y SUS CAUSAS.....	45
2.3.7	DESECHO O RECICLAJE DE LA BOMBA.....	47

### CAPÍTULO 3

#### DESENSAMBLE DE LA BOMBA

3.1	INTRODUCCIÓN.....	49
3.2	ENSAMBLE Y DESENSAMBLE DE LA BOMBA.....	50
3.2.1	ANÁLISIS DEL ENSAMBLE.....	51
3.2.2	ANÁLISIS DEL DESENSAMBLE.....	54
3.3	EVALUACIÓN DEL DESENSAMBLE DE LA BOMBA.....	57

### CAPÍTULO 4

#### REDISEÑO PARA DESENSAMBLE DE LA BOMBA

4.1	INTRODUCCIÓN.....	68
4.2	REQUERIMIENTOS.....	68
4.3	ESPECIFICACIONES.....	69
4.4	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN Y SU EVALUACIÓN DISEÑO DE DETALLE.....	70
4.4.1	TORNILLOS DE CIERRE DE LA BOMBA.....	70
4.4.2	CONTRATUERCA.....	74
4.4.3	PERNO DE LA ESTRELLA.....	76
4.4.4	IMPULSOR.....	79
4.4.5	BALEROS DEL IMPULSOR.....	89
4.5	BOMBA TIPO ESTRELLA REDISEÑADA PARA EL DESENSAMBLE.....	96
4.6	RESULTADOS.....	100
	CONCLUSIONES.....	102
	REFERENCIAS.....	104
	APÉNDICES.....	108

APÉNDICE A  
 APÉNDICE B  
 APÉNDICE C  
 APÉNDICE D  
 APÉNDICE E

---

## INTRODUCCIÓN

---

A partir del inicio de los 90's y finales de los 80's, se han estado definiendo nuevos conceptos y redefiniendo algunos otros con los que se están diseñando a lo que ya se le llama una *nueva generación de productos*. Se habla de una nueva generación de productos porque los requerimientos que se le solicitan a éstos tienen un origen diferente (esencialmente requerimientos de índole ambiental y de salud), por ejemplo, que las emisiones durante los procesos de manufactura no dañen al ambiente, que funcionalidad de los productos no sea nociva para los usuarios ni al ambiente, que los productos tengan características de reciclabilidad, etc.

En gran medida los cambios que se están dando en el diseño de estos productos está dado por una nueva concepción de desarrollo que países industrializados como E.U. y los países europeos están aplicando en sus políticas; a esta concepción se le ha llamado *desarrollo sustentable*, y en su esencia lo que busca es garantizar los recursos, naturales y no naturales, a las futuras generaciones.

Así, en esta tesis se presenta un análisis e interpretación de los conceptos que se han estado planteando en la búsqueda de un desarrollo sustentable y cómo estos conceptos han influenciado a la ingeniería del diseño para diseñar la nueva generación de productos. Además, en el presente trabajo se aplican estos conceptos en la propuesta de rediseño de una bomba de desplazamiento positivo tipo estrella.

Esta tesis se divide en cuatro capítulos, en el capítulo uno se presentan los conceptos básicos y relevantes con los que se están diseñando o rediseñando la nueva generación de productos. En el capítulo dos se plantea la descripción de la bomba y se explica que el describir el ciclo de vida de un producto es primer paso que conduce al objetivo final que es el diseño de su ciclo de vida. En el capítulo tres se estudian algunos aspectos de las etapas intermedias y finales del ciclo de vida de la bomba que se rediseña como lo son el mantenimiento y el reciclaje, para lo que se hace un análisis y evaluación de su desensamble. En el capítulo cuatro se hace la propuesta del rediseño para desensamble de la bomba rediseñando los componentes señalados en la evaluación del desensamble. Finalmente las conclusiones, donde se hace un planteamiento de los logros obtenidos, y de las limitaciones de este trabajo así como del trabajo futuro para la continuación de esta investigación.

---

## OBJETIVO Y PLAN DE TRABAJO

---

El objetivo de esta tesis es:

*Plantear los principios del desarrollo sustentable con los que se están diseñando la nueva generación de productos y hacer la propuesta de rediseño de una bomba de desplazamiento positivo tipo estrella con base en estos principios.*

El plan de trabajo que se sigue es el siguiente:

Primeramente, en el capítulo 1, se plantean y se analizan los principios del desarrollo sustentable con los que se están diseñando los productos actualmente y se explica cómo éstos han influenciado a la ingeniería del diseño.

En los siguientes capítulos (2, 3 y 4) se aplican los conceptos planteados en el capítulo 1 para llegar finalmente a la propuesta del rediseño de una *bomba de desplazamiento positivo tipo estrella*. El concepto de partida en la propuesta de rediseño es el de diseño del ciclo de vida del producto, y se explica que el intentar diseñar o rediseñar el ciclo de vida completo de la bomba resulta ser un trabajo realmente complejo, en el que, la mejor propuesta de rediseño llevaría mucho tiempo o se requeriría de un trabajo en equipo (como el que se propone con la ingeniería concurrente); no obstante esto, se propone un plan de trabajo que nos permitiría llegar al objetivo ideal de rediseñar el ciclo de vida completo de la bomba.

El plan de trabajo que se propone se ilustra en la figura 1.

La primera etapa en el plan de trabajo es el de *describir* el ciclo completo de vida de la bomba, lo cual consiste en hacer una recopilación de toda la información generada en cada etapa o situación por la que ha pasado la bomba. Toda la información recopilada es clasificada y es puesta en orden para facilitar la tarea de la siguiente etapa del plan. En esta tesis la etapa de describir se realiza para todo el ciclo completo de la bomba, y se presenta en el capítulo dos.

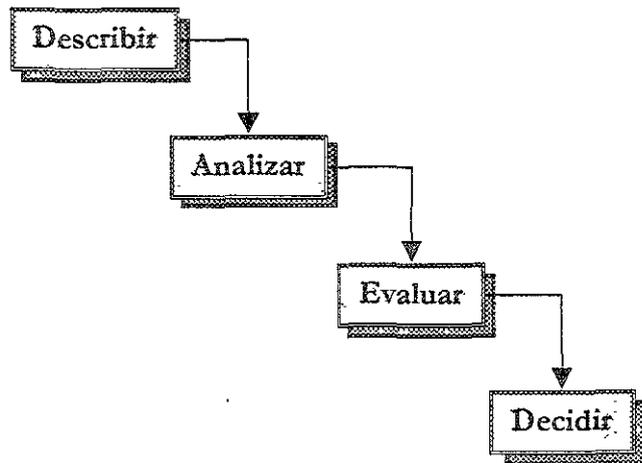


Figura 1. Plan de trabajo para realizar el rediseño de la bomba tipo estrella.

Con el plan de trabajo propuesto se entiende que los pasos sucesivos serían hacer el análisis de la información en cada etapa y el tercer paso sería hacer la evaluación, de igual forma, de todas y cada una de las etapas del ciclo de vida de la bomba, para poder decidir el diseño final; sin embargo y por la complejidad antes mencionada el plan de trabajo se sigue y se aplica para las etapas de mantenimiento y reciclaje aplicando una técnica en particular que está cobrando fuerza y que es el *diseño para desensamble*.

Entonces, se *analizará* y *evaluará* para las etapas intermedias del ciclo de vida de la bomba y finalmente se *decidirá*, proponiendo un rediseño de la bomba desde el punto de vista del desensamble.

## CAPÍTULO 1

# CONCEPTOS BÁSICOS

### 1.1 INTRODUCCIÓN

La Revolución Industrial es, sin duda (Godínez 1994), el inicio del crecimiento económico basado en los procesos técnicos de producción. La Revolución Industrial desató, no sólo, el auge económico, científico y técnico, sino que, con el inicio de ésta, se promulgó el uso intensivo e irracional de los recursos naturales en busca de modelos de crecimiento económico acelerado. Los procesos de industrialización no sólo fueron en aumento, sino que estos fueron concebidos de forma irracional, dando como resultado la grave problemática ambiental que hoy día nos invade.

En este sentido es como desde 1789, inicio de la Revolución Industrial, han sido ya más de 150 años de *indiferencia ecológica*. La “Violencia Ecológica”<sup>1</sup> que se desató fue enorme y en poco o nada se intentó evitar o por lo menos controlarla. Han sido más de 150 años de depredación irracional e inmisericorde de la tierra a favor de *un modelo de crecimiento sostenido pero no sustentable* que va poco a poco atentando contra la propia humanidad (Godínez 1994).

Por esto se ha hecho cada vez más necesario romper con esta inercia e iniciar una nueva concepción de *progreso*.

En este capítulo se presentarán los conceptos básicos con los que la ingeniería del diseño se está insertando en el contexto de la nueva concepción de progreso. Así los conceptos que se presentan son: *desarrollo sustentable, comunidad sustentable, diseño sustentable del*

---

<sup>1</sup> “Violencia Ecológica”: Es el término que Miriam Alfie utiliza en su artículo Violencia Ecológica vs. Desarrollo Sustentable, para denominar la devastación que el hombre ejerce sobre los recursos renovables, no renovables, sobre las especies animales y vegetales, así como sobre suelo, aire y cuerpos de agua (Godínez. 1994).

*producto y diseño del ciclo de vida del producto.* Además, se introduce el concepto de *ingeniería concurrente*, como el ambiente de trabajo en el que se están diseñando los productos actualmente dadas las condiciones del mercado. Finalmente, se presenta el concepto de *diseño para desensamblable*, y se toma este concepto como base para hacer la propuesta de rediseño de una bomba de desplazamiento positivo tipo estrella.

## 1.2 DESARROLLO SUSTENTABLE (DS)

No es sino hasta 1987 cuando los cuestionamientos ecológicos (mencionados en la introducción) empiezan a tener una formalidad y es entonces cuando la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (dependiente de la ONU), coordinada por la primera ministra noruega Sra. Gro Harlem Brundtland, emitió un informe intitulado “Nuestro Futuro Común”. Este documento es de referencia en todos los debates y propuestas en donde se toca el tema de DS.

En este documento se reconocen tres puntos básicos, que son (Godínez 1994):

1. La ecología dejó de ser una tarea nacional o regional, para convertirse en un problema global.
2. Se plantea la necesidad de intercambiar información entre los países ricos y los menos ricos para señalar los peligros ecológicos y la necesidad de revisar a fondo la correlación ambiente-desarrollo.
3. Las teorías de desarrollo que desde hace décadas han sostenido los diferentes regímenes, han estado en crisis, y se plantea la urgencia de formas de DS.

De esta forma es como esta misma organización, definió al **DS** como un desarrollo que **considera las necesidades presentes sin comprometer los recursos de las futuras generaciones.** Se habla y entiende que es un desarrollo que provee beneficios en lo económico, social y al medio ambiente (Gilpin 1998).

El concepto de DS es diferente que el deseo humano de controlar y domesticar la naturaleza. Es un deseo que dice, “podemos trabajar CON el medio ambiente para mejorar la calidad de vida” (Spalding, 1996). Además, se debe destacar que el DS *no* es una situación estática sino que es un equilibrio dinámico entre el hombre y su ambiente. En este sentido Charter (1998); dice que este equilibrio está basado en seis puntos, llamados *Principios del DS*. Estos principios son:

- **Protección al medio ambiente:** Es la protección de los recursos y de la vida que mantienen a los sistemas necesarios para el bienestar de la humanidad y de toda forma de vida.
- **Desarrollo:** Mejorar la ‘calidad de vida’ de la cual, el desarrollo económico es parte; pero no es el único objetivo.
- **Existencia de un futuro:** Considerar el interés que tienen las futuras generaciones pensando en lo que dejamos atrás (o lo que desechamos).
- **Equidad:** La sustentabilidad no funcionará si los recursos de la tierra están injustamente distribuidos o si los pobres pagan una parte desproporcionada de los costos en la transición hacia la sustentabilidad (todos tienen parte en este juego).
- **Diversidad:** La diversidad en los sistemas económicos, de medio ambiente y social; son generalmente, más robustos y menos vulnerables a los daños irreversibles o al daño catastrófico. Esto, además, permite a los individuos elegir más opciones sustentables.
- **Participación:** La sustentabilidad no debe ser impuesta pero sí requiere del apoyo y del involucramiento de todas las partes que conforman una comunidad y de todas las comunidades. Esto requiere de participación en la toma de decisiones.

### 1.2.1 COMUNIDAD SUSTENTABLE.

El DS pretende concretar sus principios en una nueva sociedad a la cual se le denomina *Comunidad Sustentable*. En esta comunidad sustentable se reconocen tres elementos. Estos elementos se muestran en la figura 1.1.

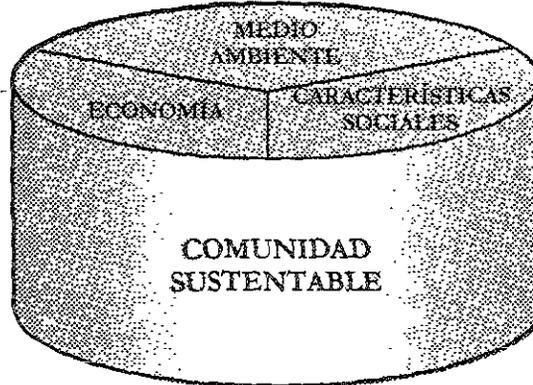


Figura 1.1 Elementos de una Comunidad Sustentable.

En esta comunidad sustentable es donde se pretende mejorar la calidad de vida del ser humano. Además, el desarrollo de esta comunidad se basa en que toda respuesta a los problemas que se presenten se hace considerando a estos tres elementos de forma simultánea.

Los elementos de una Comunidad Sustentable se pueden entender de la siguiente manera:

- **Economía:** este elemento está comprendido por los *recursos naturales* y por los *recursos no naturales*. Respecto a los *naturales* (selvas, bosques, lagos, etc.) se busca que estos sean explotados y así obtener una ganancia; respecto a los *no naturales* (recursos monetarios, fábricas, máquinas y en general, todo aquello capaz de dar utilidad) se busca que estos rindan en su aplicación lo más posible. En ambos casos, se requiere de alguna actividad o costo que tiene que ser dada a cambio para su obtención, puesto que existen de forma escasa.

Con este elemento se pretende ahora, una economía sustentable y no solamente un desarrollo económico sostenido. Se busca que todos los recursos sean administrados eficazmente, con la visión de que las futuras generaciones tengan los recursos necesarios para la generación de riqueza pública y privada.

- Características sociales: Este elemento está compuesto por todos los aspectos que distinguen a las personas, familias, pueblos o naciones; como ser, la religión, idioma, posición económica, etc.

En este elemento el DS pretende, a pesar de las diferencias entre personas y grupos, crear una conciencia ecológica en los individuos y que las sociedades busquen vivir en armonía con el medio ambiente.

- Medio ambiente: Este elemento está integrado por todos los *recursos vivientes* (bosques, selvas, mares, etc.), vitales para la vida humana y animal; y *recursos no vivientes* (aire, temperatura, humedad, presión, etc.).

Este elemento es considerado por el DS como el punto de partida de una buena existencia de todos los seres vivos en el planeta.

Existen **factores** que ayudan o que mantienen la vida en una comunidad y promueven que ésta sea sustentable, como por ejemplo: *las leyes* que gobiernan a las comunidades sustentables que buscan reglamentar la relación entre los individuos en un sentido sustentable. Otro ejemplo son las *obras de la ingeniería civil* como los edificios, puentes, carreteras, etc., que están en un contexto sustentable. Un ejemplo más son los *productos* como autos, computadoras, etc., que comúnmente se utilizan en estas comunidades (Charter, 1998). Así, hablar de las comunidades sustentables con estos *factores* es hablar de su *sustentabilidad*, de la forma en cómo una comunidad, a través de estos factores, se relaciona con el medio ambiente.

En la siguiente sección se abordará de forma más particular uno de estos factores, el referente al de los productos.

### 1.2.2 DISEÑO SUSTENTABLE DEL PRODUCTO (DSP).

El DSP se puede definir como (Charter y Chick, 1996): la práctica administrativa dirigida a buscar un balance entre las necesidades de cuatro elementos (ver figura 1.2): el de medio ambiente, el social, el ético y el económico. El DSP reconoce la necesidad de desarrollar productos innovadores a través de su ciclo de vida y conceptos de servicio que minimicen el impacto social y de medio ambiente.

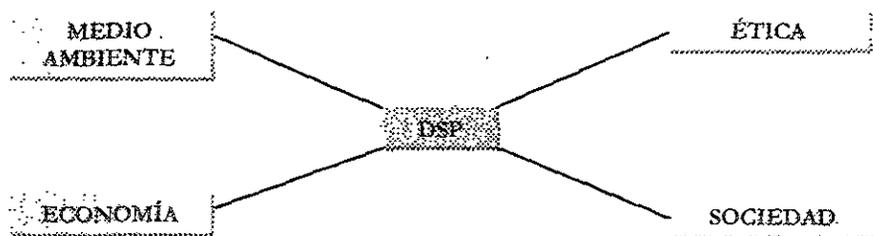


Figura 1.2 Elementos a considerar para el Diseño Sustentable del Producto.

El equilibrio entre estos cuatro elementos se logra cuando el producto satisface el objetivo de cada uno de ellos. Estos objetivos son:

- Medio ambiente: Su objetivo es lograr el mínimo de emisiones que dañen a la naturaleza, en todo el ciclo de vida del producto.
- Economía: su objetivo es encontrar nuevas oportunidades de negocio a través del ciclo de vida del producto, como lo son por ejemplo, la reducción de costos de manufactura (menos materia prima y menor consumo de energía), obtener utilidad del reciclado de materiales, reutilización de partes y componentes, etc.
- Ética: Su objetivo es que los productos deben reflejar el carácter ético de la compañía, y así el consumidor sabe que el producto que adquiere no daña a la naturaleza, que opera con menor energía que sus competidores, etc.

- Sociedad: Su objetivo es exigir, a través de sus representantes sociales, que se legisle que los productos en todo su ciclo de vida *no* sean dañinos al ambiente. De no ser así, hacer responsable a los fabricantes por los daños causados tanto a las personas como al medio ambiente.

Por otro lado Jovame y Alting (1993) coinciden, de alguna forma, con estos elementos del DSP cuando dicen que en el diseño de nuevos productos se deben considerar aspectos de índole ambiental y se comienza sobre la base de un conjunto de especificaciones en función de las necesidades del mercado. Además, la selección de la solución técnica, está basada en las políticas que cada compañía tiene.

Ahora bien, los productos son diseñados generalmente por el ingeniero mecánico y particularmente por el de diseño, por lo que tienen una gran responsabilidad para ayudar en el aspecto de la sustentabilidad de una comunidad.

Estos mismos ingenieros, tradicionalmente, han diseñado los productos considerando básicamente tres aspectos; la satisfacción al cliente, que sean fáciles y económicos de fabricar y ensamblar.

Este es el gran reto del DS, romper con la inercia de más de 150 años, para primeramente, introducir una nueva forma de ver al desarrollo, y posteriormente, llevar la filosofía del DS a los productos (DSP) y finalmente contar con comunidades sustentables.

En la actualidad ya existen empresas que están aplicando políticas que se adaptan a los principios del DS y las están aplicando a sus productos como por ejemplo: Hewlett Packard, Xerox, Philips, Daimler-Benz entre otras (Charter y Chick, 1996 y Weule 1993).

Como caso particular podemos mencionar a Hewlett Packard, la cual opera diciendo: *La filosofía y práctica del diseño de productos, sus accesorios y procesos está dirigida a prevenir/minimizar daños a la salud, daño ecológico y que sean seguros a través de su ciclo de vida* (Charter, 1998).

La *nueva generación de productos*, en este contexto del DS (DSP), está siendo diseñada bajo un nuevo concepto, el de *diseño del ciclo de vida*.

### 1.3. DISEÑO DEL CICLO DE VIDA (DCV).

Con los fundamentos del DSP como tras fondo Leo Alting en 1991 (a consideración del autor la visión más completa), busca formalizar principios para la ingeniería del diseño y hace la propuesta del llamado *diseño del ciclo de vida del producto*. Una primera conclusión, tras el estudio de tema, es que ahora ya no solamente se diseñan productos, sino también, se diseñan sus procesos y se diseñan sus servicios.

El llamado DCV pretende satisfacer, de forma efectiva, los nuevos requerimientos sociales, económicos y de medio ambiente. En esencia, consiste en *analizar, evaluar y decidir* las consecuencias del producto durante cada una de las etapas y servicios por las que pasa.

Así, Alting en (1991) definió al **Diseño del Ciclo de Vida (DCV)** diciendo que este concepto es una *evolución de la ingeniería concurrente* y consiste en que todas las fases del ciclo son consideradas simultáneamente desde la etapa de diseño conceptual del producto hasta la etapa de diseño de detalle (Kusiak, 1993). Ver figura 1.3.

En esta visión de Alting se puede observar que las consecuencias ambientales obligan a cambios en los métodos de diseño, de producción, de uso, de distribución y de reciclaje.

Las fases del ciclo de vida de un producto son (Alting, 1991):

- **Reconocimiento de las necesidades.**
- **Diseño / Desarrollo.**
- **Producción.**
- **Distribución.**

- **Uso.**
- **Deshecho o reciclaje.**

Todas estas fases son consideradas en la etapa de diseño conceptual, donde se pueden hacer varias iteraciones y cambios a las soluciones de diseño sin que por esto se presenten costos elevados, de tal forma que los requerimientos son satisfechos en cada fase y en la totalidad del ciclo de vida del producto.

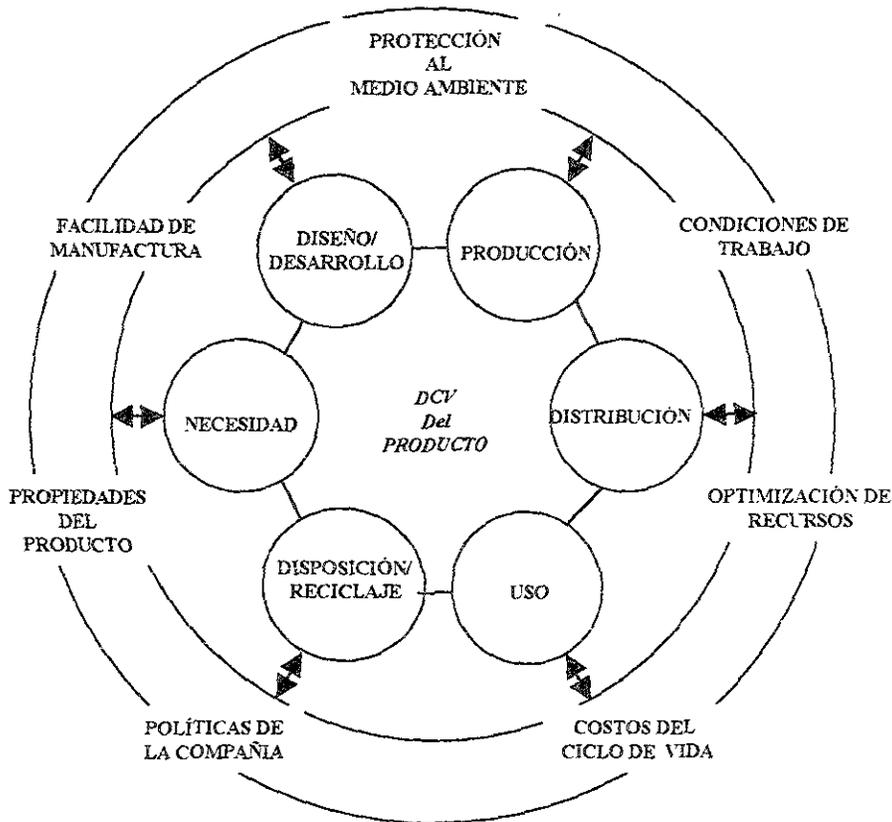


Figura 1.3 El concepto de diseño del ciclo de vida del producto (Alting 1991).

La toma de decisiones al considerar cada fase del ciclo de vida es guiada por una *función de criterio*. Esta función de criterios contiene elementos como (figura 1.3):

- **Protección al medio ambiente:** El criterio es el de asegurar que un producto puede ser producido, distribuido, usado, y desechado o reciclado sin ningún daño al ambiente en cada una de las fases. Por lo tanto, el impacto ambiental de las alternativas de solución tiene que ser valorado en cada fase del ciclo de vida y en todas como un conjunto. La meta es, cero emisiones.
- **Condiciones de trabajo:** Este criterio considera los riesgos que corren las personas que están en contacto con el producto en alguna etapa de su ciclo de vida. El daño a la salud puede ser causado por ruido, vibraciones, radiación por calor o por campos magnéticos, emisiones químicas, ausencia de ergonomía, etc. La meta es, cero riesgos.
- **Optimización de recursos (energía y materiales):** con este criterio se destaca la importancia de establecer métodos y sistemas que permitan una mejor administración de los flujos energéticos y de materiales. Este criterio se formula con base en que la energía y materiales deben ser utilizados con la máxima eficiencia en la totalidad del ciclo de vida. La meta es lograr productos con el mínimo de energía y de materiales.
- **Propiedades de manufactura:** algunos aspectos a considerar en este criterio son la estandarización, facilidad de producción, ensamble, automatización, flexibilidad, confiabilidad, etc. La tecnología de manufactura debe desarrollarse para satisfacer los requerimientos de medio ambiente y ocupacionales (como la seguridad de los operarios).
- **Propiedades del producto:** en este criterio se consideran los aspectos de calidad, confiabilidad, del diseño industrial, y de los costos. Estas propiedades reflejan cómo la solución cumple la especificación técnica, de medio ambiente y salud laboral y los costos para hacerlo.
- **Políticas de la compañía:** las políticas de la compañía definen a los criterios que dictan las actitudes generales cuando se soluciona un problema.

- **Costos del ciclo de vida:** con este criterio se establecen los costos y como se distribuyen para los involucrados con el producto para cada etapa del ciclo de vida del producto. Una “imagen” de cómo los costos se distribuyen; en términos generales, es lo que se observa en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Los costos causados por un producto.

	COSTOS A LA COMPANÍA	COSTOS A LOS USUARIOS	COSTOS A LA SOCIEDAD
NECESIDADES	Reconocimiento de mercado		
DISEÑO	Desarrollo		
PRODUCCIÓN	Materiales, Energía, Herramientas, Salarios, etc.		Basura, Contaminación, Daños a la salud
DISTRIBUCIÓN	Transporte, Almacenaje, Basura	Transporte, Almacenaje	Basura, Contaminación, Daños a la salud
USO	Garantías de servicio	Energía, Materiales, Mantenimiento.	Basura, Contaminación, Daños a la salud
DISPOSICIÓN		Disposición esperada	Manejo de la basura, Disposición, Daños a la salud, Contaminación
RECICLAJE		Costos de reciclaje	Basura, Contaminación, Daños a la salud

### 1.3.1 NECESIDAD DE NUEVAS TECNOLOGÍAS.

Con el propósito de aplicar el concepto de DCV del producto se reconoce que es necesario desarrollar nueva tecnología. Esta necesidad se entiende si se observa que el DCV incorpora nuevas etapas a lo que tradicionalmente se entendía como diseño. Esta nueva tecnología debe incluir:

- Guías de diseño: Para considerar aspectos ambientales y de salud de los trabajadores, procurando una producción, distribución, uso, y reciclaje amigables. Algunos aspectos a considerar en las guías de diseño se ilustran en la figura 1.4.

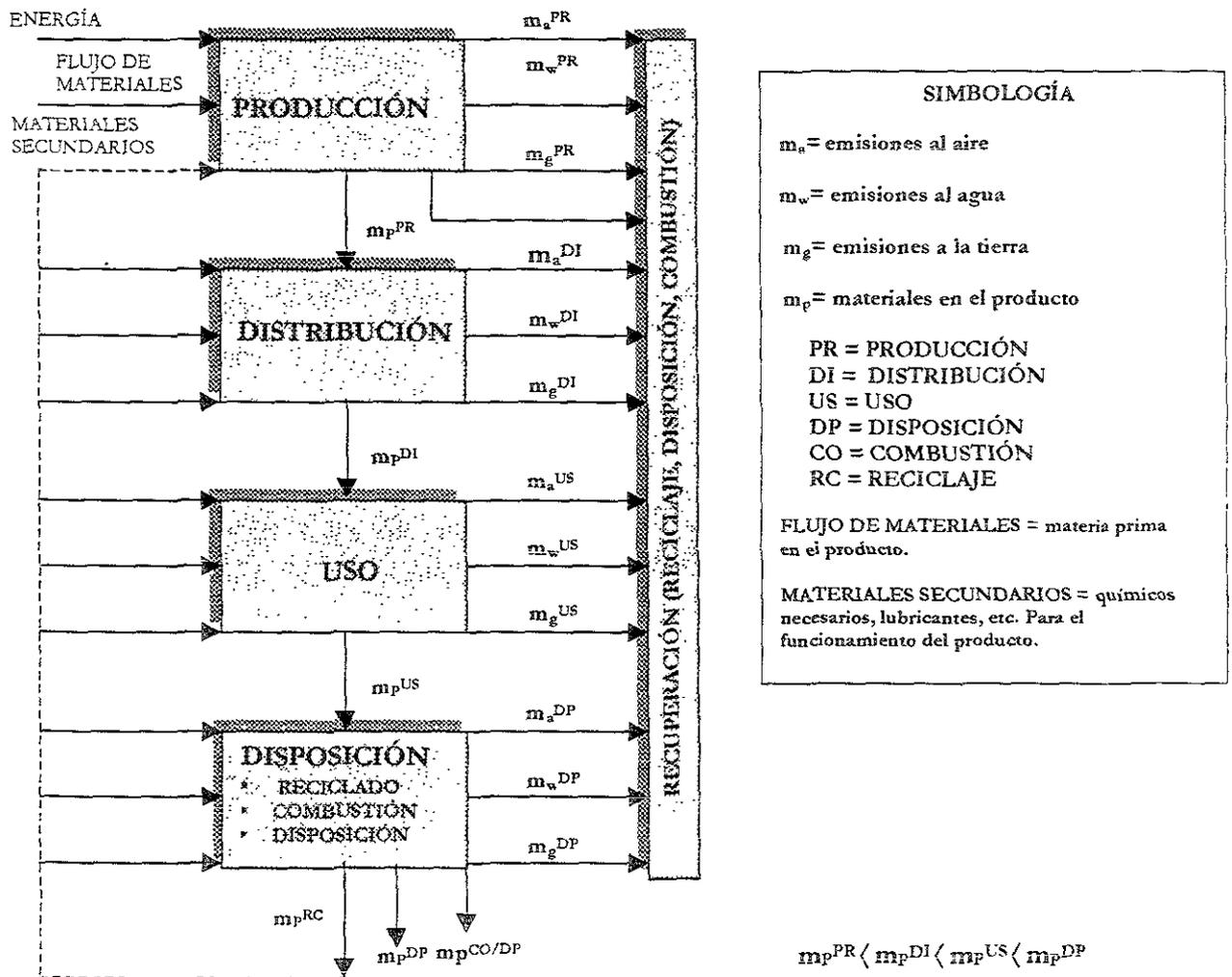


Figura 1.4 Aspectos a considerar en las guías de diseño

- Un concepto del ciclo de vida del producto: Es importante mencionar que el concepto de ciclo de vida para un producto cambia de una compañía a otra, de un producto a otro; pero en cada fase del ciclo el concepto debe ser “visible” para todos sus miembros como una política directiva que guía todas las actividades.
  
- Metodologías o herramientas: Es necesaria la estimación de las consecuencias al medio ambiente y a la salud de los trabajadores. Algunas de las herramientas para realizar estas estimaciones pueden ser:
  - a) Una metodología general que incorpore al diseño, la utilización de recursos, salud de los trabajadores, medidas ambientales y costos.
  - b) Análisis de flujo de materiales.
  - c) Modelos de emisiones contaminantes.
  - d) Análisis de riesgos y accidentes.
  - e) Optimización de recursos (energía y materiales) en el contexto de ciclo de vida.
  
- Monitoreo y control: Esto es particularmente importante en varias etapas del ciclo de vida de un producto como lo es en la producción donde se requiere que las emisiones tóxicas sean mínimas, además, se prefiere que el monitoreo y control estén en un contexto de CIM.

Además de la necesidad de estas nuevas tecnologías, las condiciones del mercado (competitividad, leyes ecológicas restrictivas, productos innovadores, etc.) requiere que los productos sean diseñados de otra forma, de una forma más rápida, menos costosa y que satisfaga de forma eficiente todos los requerimientos que se plantean en el ciclo de vida de un producto.

Entonces, la *nueva generación de productos* es caracterizada en dos formas que son; la que responden a cuestionamientos sustentables (nuevos requerimientos) y los que se diseñan en un contexto de ingeniería concurrente (por las condiciones del mercado).

El concepto de ingeniería concurrente se presenta a continuación.

## 1.4 INGENIERÍA CONCURRENTE EN EL DISEÑO DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO

La década de los 90's es caracterizada por un ciclo de vida más corto en los productos y la presencia de más competidores en el mercado, que además, son capaces de distribuir sus productos a nivel mundial. Para mantenerse en el mercado, muchas compañías han recurrido a la ingeniería concurrente como una forma para desarrollar nuevos productos (Poolton, 1995).

La Agencia en Proyectos de Investigación Avanzada en Defensa de los Estados Unidos (del inglés DARPA) inició un estudio en 1982 para implementar concurrencia en los procesos de diseño. En 1986 el Instituto para el Análisis de la Defensa (del inglés IDA) en su reporte R-338 acuñó el término **Ingeniería Concurrente** definiéndolo de la siguiente forma:

*Ingeniería Concurrente es una aproximación sistemática para integrar el diseño concurrente de productos y la historia de sus procesos, incluyendo manufactura y maquinaria. Esta aproximación intenta causar el desarrollo, desde el principio, para considerar todos los elementos del ciclo de vida del producto desde el concepto a través de sus procesos, hasta calidad, costos, lista de detalles y requerimientos de los usuarios (Syan 1994).*

A partir de entonces diversos investigadores del tema han definido lo que es *ingeniería concurrente* o *ingeniería simultánea*, como también se le ha llamado, sin embargo se pueden reconocer algunas características en común. Esto es, la ingeniería concurrente es: ... *una forma de trabajar donde varias actividades de ingeniería... son integradas y ejecutadas tan pronto como sea posible, en paralelo, en lugar de secuencialmente.* (Lindbert, 1993). Esta idea ha sido representada gráficamente y se ilustra en la figura 1.5 (Weck et. al. 1991).

En la figura 1.5 se puede observar que el proceso de diseño convencional pasa de una etapa a otra y no inicia la siguiente hasta finalizar la anterior. Mientras que en el proceso de diseño con ingeniería concurrente, las actividades se realizan tan pronto como es posible y las actividades propias de cada etapa se realizan simultáneamente (o en paralelo). Al final de este proceso (ver figura 1.5) se logra un producto en un menor tiempo. Lo cual favorece la satisfacción de las necesidades de los mercados actuales. Además, se entiende que el trabajo en equipo es esencial para lograr un

producto que realmente satisfaga los requerimientos.

En la actualidad, esta idea de realizar actividades en paralelo se está desarrollando en un contexto de CIM, donde la velocidad del diseño es favorecida de forma importante ya que la actualización de la información (porque ésta se va generando durante el proceso de diseño), es casi simultánea y todos los participantes del equipo de diseño cuentan con esa información (Weck et. al. 1991).

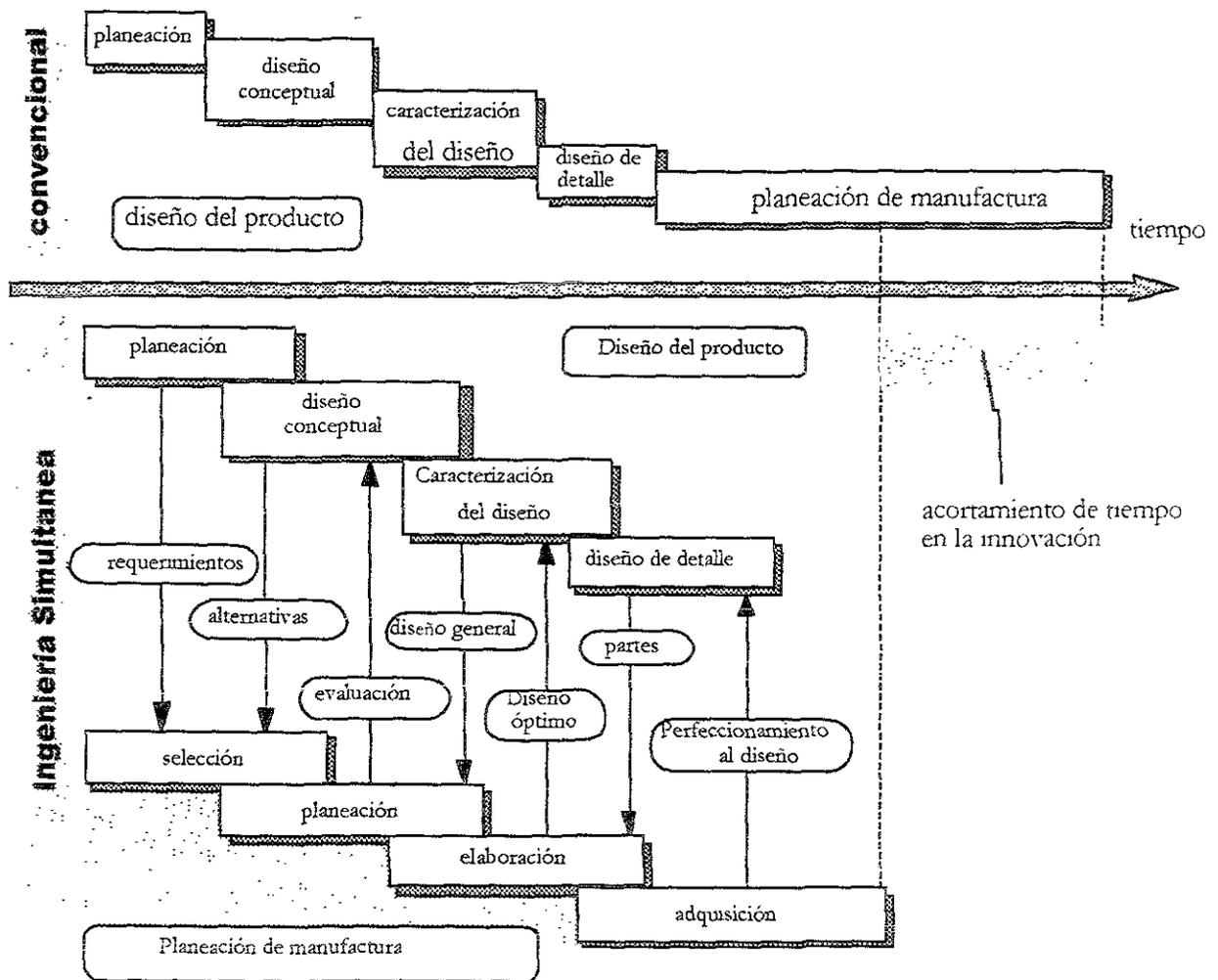


Figura 1.5 Ingeniería concurrente o Ingeniería simultánea (Weck et. al. 1991).

Algo más que se observa de la combinación del DS y de la ingeniería concurrente, es que las diferentes técnicas de diseño ahora ya no trabajan de forma aislada si no en conjunto, con un

objetivo en común, creando una *sinergia*, para lograr un producto sustentable en un menor tiempo posible. Ver figura 1.6.

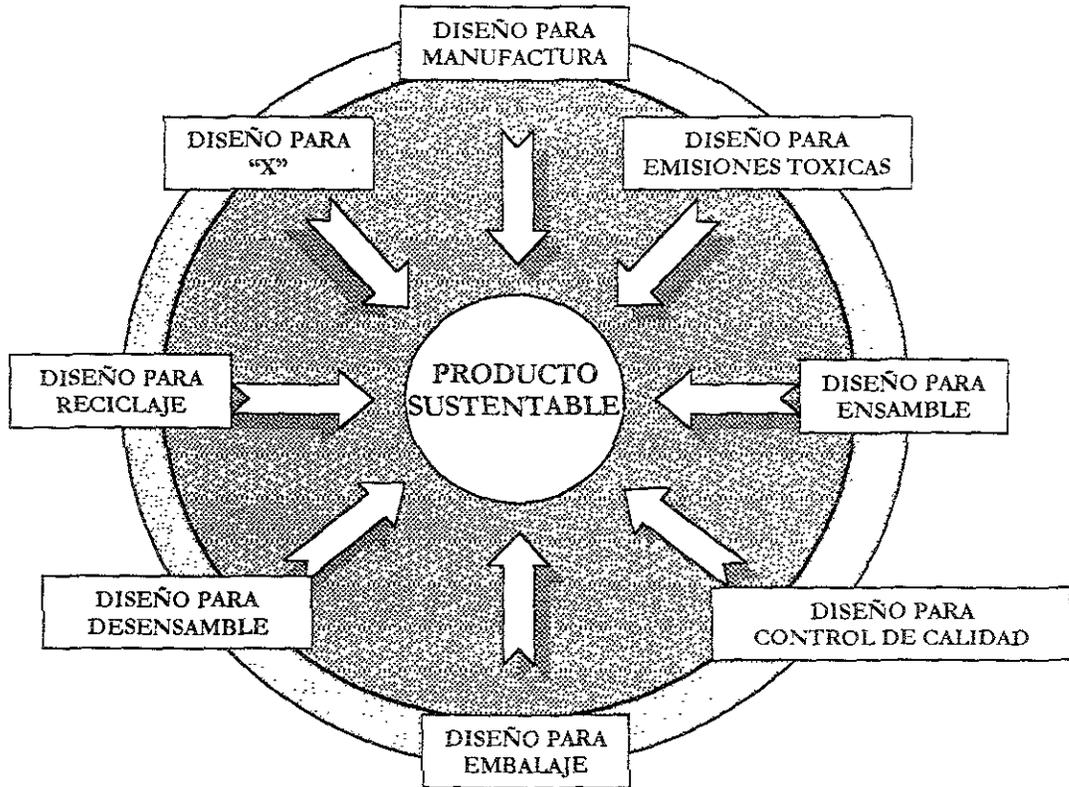


Figura 1.6 Sinergia en el diseño del producto

Se entiende que no todos los productos son diseñados con las mismas técnicas de diseño por lo que es necesario, para cada caso, definir cuáles de éstas son necesarias y cuales no. Esto depende también de las políticas de la compañía y de los requerimientos en particular que se quiera dar respuesta.

‡ Del "Diccionario Larousse Ilustrado". Tomos 1 y 2. Editorial Larousse, 1997.

**SINERGIA:** Asociación de varios órganos para la producción de un trabajo.

En particular, el *diseño para desensamblable*, es una técnica de diseño que en la actualidad ha cobrado importancia y se utiliza para apoyar el diseño de las etapas intermedias y finales del ciclo de vida de un producto, como lo son el mantenimiento y el reciclaje; aspectos que en los productos tradicionalmente diseñados han sido poco considerados en estos aspectos.

La fuerza del diseño para desensamblable en las etapas de mantenimiento y reciclaje radica en que para dar mantenimiento o para reciclar lo primero que se hace es desensamblar los productos.

En la siguiente sección se presenta el concepto de diseño para desensamblable, además de que con base en éste se hará la propuesta de rediseño de una bomba de desplazamiento positivo tipo estrella.

## 1.5 DISEÑO PARA DESENSAMBLE (DPD)

Es importante entender que el desensamblable *no* es puramente el proceso en reversa de ensamblar. Para la mayoría de las partes de los productos, el desensamblable es más sencillo y rápido que el ensamble. Además, se destacan tres diferencias básicas entre ensamble y desensamblable (Lambert. et. al. 1999) que son:

1. El ensamble siempre empieza de un número inicial de partes definido (partes separadas) y se procede hacia un estado final (el ensamble completo). Mientras que el desensamblable puede ser incompleto, de acuerdo a criterios económicos y de medio ambiente.
2. La geometría no es tan importante en el desensamblable. Cuando un subensamblable es inestable (porque sus componentes solo están sobrepuestos), éste se desensambla en pequeños subensambles. Contrario al ensamble donde es deseable la estabilidad del subensamblable.
3. El valor agregado del proceso de ensamble está en el producto completo (porque se diseñó para que el ensamble no sea costoso). En el desensamblable, el valor agregado es por crear componentes

y subensambles en componentes para reuso y subensambles con componentes que son fácil de separar para material de reciclaje.

Entonces aplicar el DPD significa que los productos son diseñados para hacer tan fácil como sea posible su desensamble (Johansson, Bjorkman.1997). Además de que el DPD es una técnica que ayuda al diseño o rediseño de productos buscando el reuso (de partes), reciclado (de materiales) y/o para facilitar su mantenimiento (Jovane., Alting . et. al. 1993).

Los criterios de DPD involucran diferentes aspectos, como lo son (Lampert, et.al.2000).:

- Uso mínimo de energía y materiales.
- Economía del desensamble (se busca que el desensamble sea una oportunidad de negocio).
- Mínimo tiempo en el desensamble.

En este contexto el grupo de investigación “dfe”, (Manchester Metropolitan University, 2000) destaca la importancia de aplicar el DPD en los productos diciendo que éste puede:

- Estimular el posible reuso de los productos. Esto extiende la vida de los productos, por lo tanto decrece la necesidad de nuevos.
- Estimular la posible remanufactura La remanufactura, o reajuste de partes, extiende la vida de los productos y por lo tanto, decrece la necesidad de nuevos subensambles y partes.
- Estimular el posible reciclado de partes y materiales. Esto es que las partes son reutilizadas para otros productos o que simplemente sean materiales altamente reciclables; disminuyendo con esto la necesidad de materia virgen
- Estimular la incineración segura. Cuando se hace necesario la incineración, se pueden evitar las

emisiones tóxicas separando los materiales que las causan.

Así mismo, la *facilidad del desensamble* en un producto (Johansson y Bjorkman, 1997) representa la facilidad para desensamblarlo y así recuperar sus subensambles, componentes y/o fracciones de material. Estos autores proponen un diagrama de flujo donde se muestra el proceso que se sigue para lograr el desensamble de un producto (en general). Este diagrama de flujo es llamado *Modelo Genérico de Decisiones*. Ver figura 1.7.

En el proceso de desensamble de un producto Johansson y Bjorkman encuentran que un componente/producto que va a ser desensamblado presenta cuatro características básicas:

Identificabilidad: se refiere a la distinción e identificación de una parte en el producto ensamblado. Una parte puede distinguirse de las demás por su forma, dimensión, material u otro tipo de características (e. g. propiedades magnéticas, colores). Los conectores usados en un producto también deben ser fácilmente identificables y así facilitar la separación de las partes.

Accesibilidad: se refiere a la facilidad para alcanzar una parte y poder desensamblarla. Ésta se ve reflejada en la estructura del producto y depende de la localización física, orientación de la parte y su profundidad en el producto. Las partes peligrosas (que sean tóxicas, con filos etc.) deben localizarse en lo profundo de la estructura del producto.

Separabilidad: depende del tipo y número de operaciones necesarias para separar un componente del producto. Las operaciones deben implicar movimientos con direcciones libres de colisiones. Las interfaces entre las partes deben ser designadas como superficies separables, para que las partes puedan ser fácilmente separadas.

Manipulabilidad: se refiere a la facilidad con que se puede tomar una parte, y depende de su forma, dimensiones, y calidad de superficie. Las partes a ser removidas deben ser fácilmente sujetables y fáciles de mover.

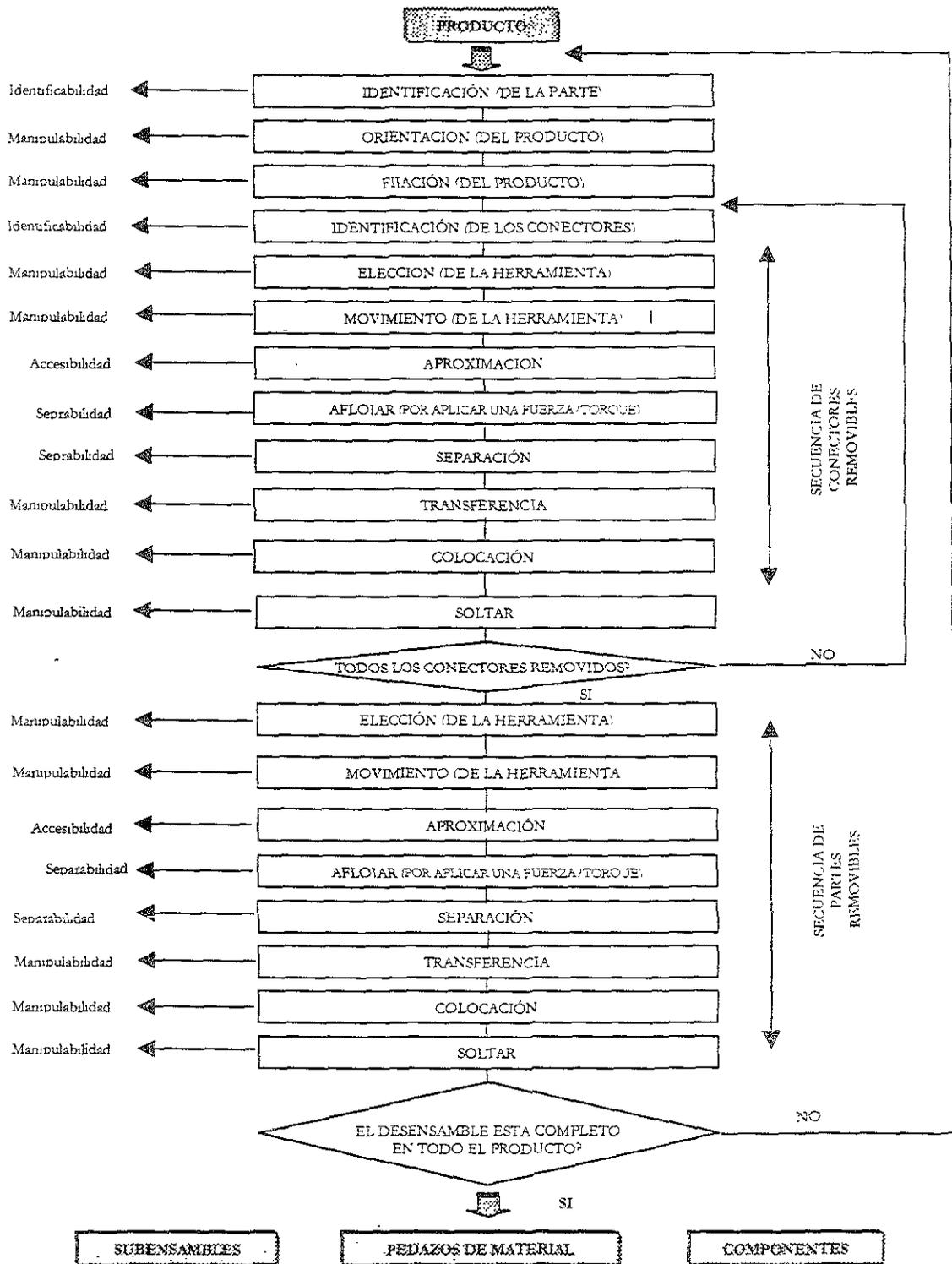


Fig. 1.7 Modelo Genérico de Decisiones en el proceso de desensamble de un producto.

Por otro lado, también destacan los trabajos realizados por Ishii Kosuke (con sus técnicas de diagrama de espina de pescado y diagrama de espina de pescado en sentido inverso. Ishii, 1995 y 1996) y de Ehud Kroll (con su carta de evaluación para el desensamble. Kroll 1996). Las técnicas de estos investigadores se estudiarán y se aplicarán para el caso de la bomba tipo estrella en la sección 3.2.

En el siguiente capítulo se dará el primer paso hacia el objetivo “ideal” de diseñar el ciclo de vida completo de un producto (como caso de estudio una bomba de desplazamiento positivo tipo estrella). De acuerdo al plan de trabajo propuesto (ver la sección de objetivo y plan de trabajo) lo primero es describir el ciclo completo de la bomba para así plantear la información en cada una de las etapas de su ciclo de vida.

## CAPÍTULO 2

# DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE VIDA DE LA BOMBA

### 2.1 INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior se presentaron los conceptos básicos bajo los cuales se están diseñando los nuevos productos y rediseñando algunos otros; la propuesta de rediseño de una bomba que se presenta en esta tesis tiene como trasfondo estos conceptos.

El *diseño del ciclo de vida del producto* (o rediseño para este caso), consiste en *analizar, evaluar y decidir* (ver sección 1.3). No obstante esto, y por la complejidad que representa el rediseño de un producto y el rediseño, también (como se vio en el capítulo anterior), de las consecuencias de sus procesos y servicios; en esta tesis se presentará únicamente el primer paso en el camino que conduce al objetivo “ideal” de diseñar el ciclo completo de un producto, que es, la *descripción de su ciclo de vida*. Se entiende también que antes de analizar, lo primero que se hace es una descripción o un planteamiento de las situaciones por las que ha pasado un producto.

Planteado lo anterior, se entiende que la *descripción del ciclo de vida de un producto* es un modelo “explícito” que interacciona la información generada a lo largo de las etapas del ciclo de vida de un producto.

Por fase o etapa en el ciclo de vida de un producto se entiende que es el lugar o posición (como lo es el laboratorio donde se diseña, o el taller donde se hacen las pruebas, etc.) donde se conjuntan y distinguen las características (o información) y que cumplen con una función bien

determinada. Con esto, cada etapa puede ser descrita, analizada y evaluada de forma más eficiente y para así poder diseñar cada etapa en el ciclo de vida de un producto (Mueller 1999 y Lee 1993).

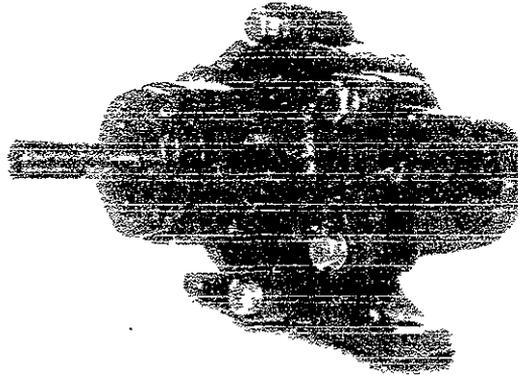
Se eligió como caso de estudio a la **bomba de desplazamiento positivo tipo estrella** por que se requería un producto al que se le pudiera hacer un seguimiento en cada etapa de su ciclo de vida (disponer de la información), además se requería de un producto con un número no muy grande de componentes para poder manejar de forma más eficiente las metodologías de desensamble que se aplicarán en el capítulo siguiente.

Entonces en este capítulo se hará la descripción del ciclo de vida de una bomba de desplazamiento positivo tipo estrella. En la sección 2.2 se da una descripción de la bomba tipo estrella. En la sección 2.3 se presenta el concepto de ciclo de vida para la bomba y se hace la descripción de cada una de las etapas (diseño, manufactura, ensamble, pruebas, operación, mantenimiento, desecho).

## 2.2 DESCRIPCIÓN DE LA BOMBA

Las bombas tipo estrella, (ver figura 2.1) utilizan un principio de funcionamiento originado y desarrollado en México. Esta bomba fue diseñada en 1981 y optimizada en 1982. Cuenta con la patente en México No. 155 565, 24 Marzo, 1988.

A partir de su introducción al mercado, se ha usado para diversas aplicaciones manteniendo su estructura básica y características geométricas generales, sólo variando los materiales de los componentes en contacto con el fluido. Las dimensiones y materiales particulares dependen del gasto deseado y del fluido a bombear (Chicurel y Reséndiz, 1982, 1986).



**Figura 2.1. Bomba típica tipo estrella.**

Esta bomba pertenece a la clase de bombas rotatorias de desplazamiento positivo y se utiliza para bombear diversos fluidos como: aceites, combustibles, melaza, ácidos, agua y prácticamente cualquier fluido utilizado en las industrias tales como química, eléctrica, petrolera, alimentaria y azucarera. En consecuencia, los materiales utilizados son específicos para la aplicación en particular como lo pueden ser: hierro gris, acero inoxidable, acero al carbón, etc.

### **2.2.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA BOMBA**

Las bombas tipo estrella se distinguen por tener únicamente dos partes en movimiento: el impulsor y la estrella. Una de las ventajas de este sistema es la existencia de fuerzas nulas entre las superficies sellantes, por lo que su desgaste es mínimo, así como por la descarga de fluidos sin fluctuaciones.

La figura 2.2 muestra un esquema simplificado de la bomba en el que se muestran las dos partes en movimiento. El impulsor es esencialmente un disco con pernos; éste, va integrado a la flecha que es movida por un medio externo. Dicho impulsor mueve a su vez a la estrella mediante la acción de los pernos que entran periódicamente en unos escotes en la periferia de la estrella.

Los ejes del impulsor y la estrella son paralelos pero descentrados (figura 2.2). La estrella gira a la misma velocidad y en el mismo sentido que el impulsor. Al salir los pernos de los escotes de la estrella, entran en un “pasaje de bombeo” en el cuerpo de la bomba y desplazan de esta manera el fluido que ahí se encuentra provocando la entrada al pasaje y elevando la presión a la salida.

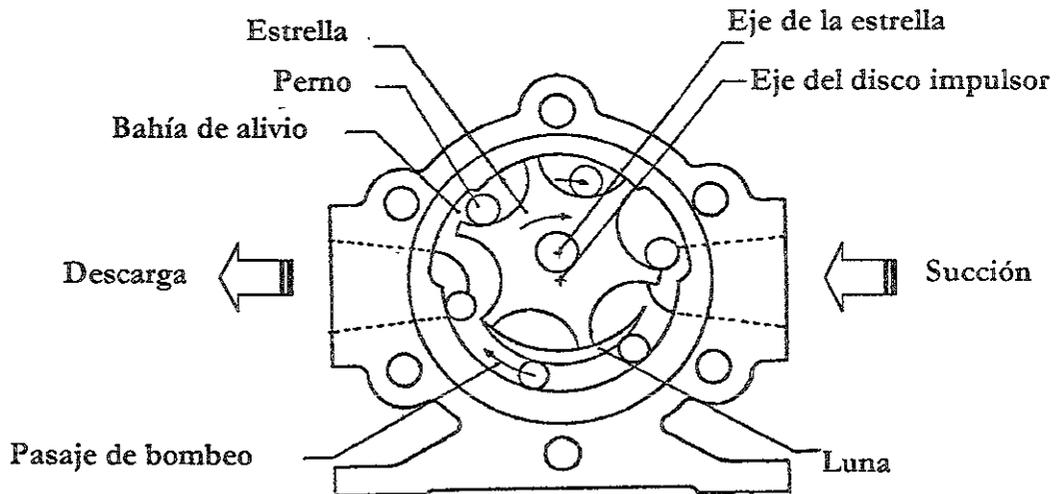


Figura 2.2. Esquema de una bomba tipo estrella.

En la tabla 2.1 y en la figura 2.3 se muestra los nombres y la configuración de las partes de una bomba tipo estrella típica.

Tabla 2.1 Lista de partes

1. Tornillo.	9. Perno estrella.
2. Cuerpo.	10. Balero estrella.
3. Cubierta.	11. Perno impulsor.
4. Impulsor.	12. Balero de impulsor.
5. Estrella.	13. Balero de impulsor.
6. Tornillo de ajuste.	14. Arosello cuerpo-cubierta.
7. Contratuerca.	15. Arosello tornillo de ajuste.
8. Sello mecánico.	16. Espaciador.

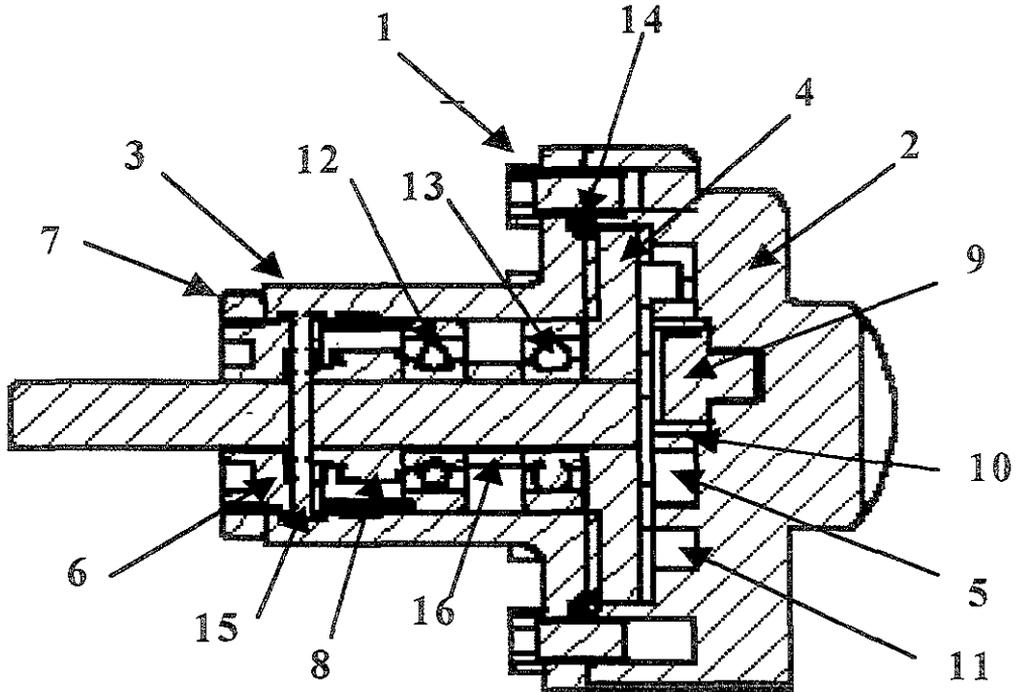


Figura 2.3. Corte longitudinal de la bomba.

Es importante notar que el principio de bombeo se mantiene para todos los modelos de la bomba tipo estrella independientemente de su aplicación. Lo único que cambia en cada caso es el material y las dimensiones de sus componentes.

### 2.3 DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE VIDA DE LA BOMBA

La descripción de cómo se ha desarrollado un producto a través de su ciclo de vida es un modelo explícito de las etapas por las que ha pasado durante la historia de su vida, así como la integración de información entre cada etapa. Implícita o explícitamente, todas las compañías que desarrollan productos tienen alguna clase de descripción de los productos que manejan (Lee y Melkanoff, 1993).

En esta forma y tras una recopilación de la información que se genera alrededor de la bomba es como, *para este caso*, se establecen las etapas de su ciclo de vida (ver sección 1.3) estas etapas son: diseño, manufactura, ensamble, pruebas, operación, mantenimiento, y desecho. Ver figura 2.4.

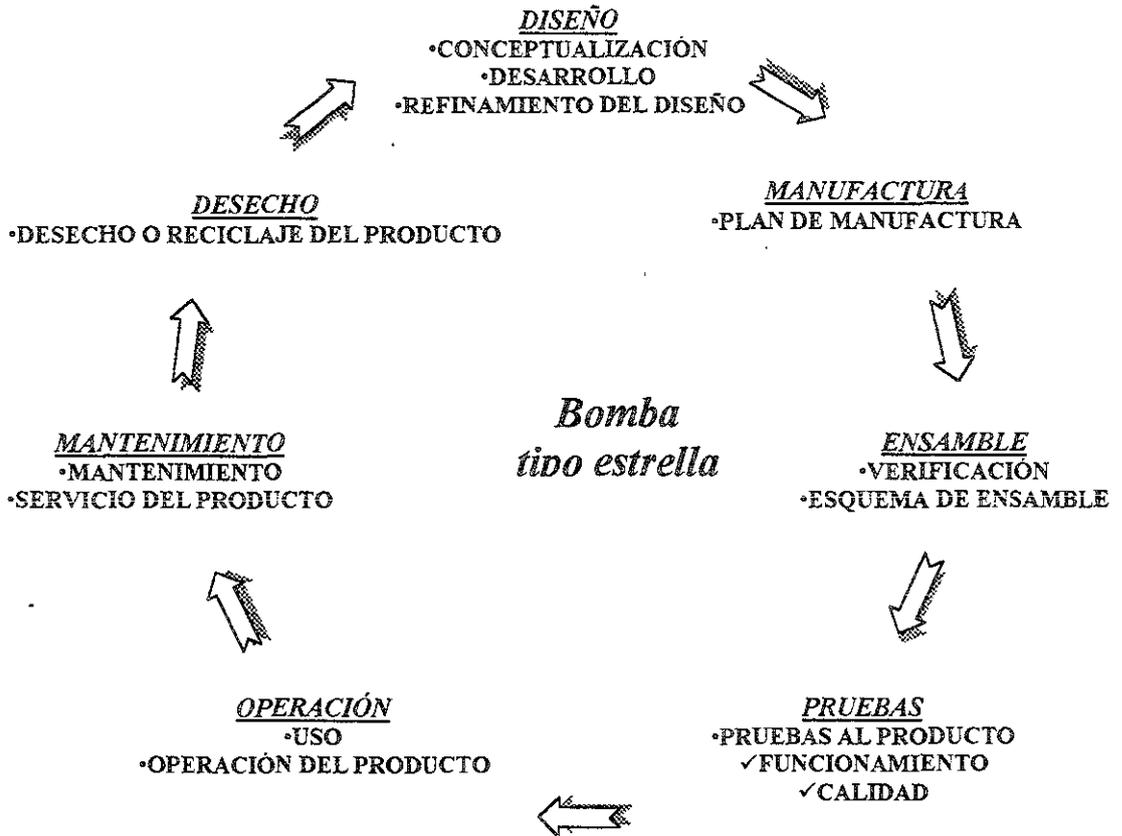


Figura 2.4. Etapas del ciclo de vida de la bomba.

Cada etapa del ciclo de vida de la bomba se describe en los apartados siguientes.

### 2.3.1 DISEÑO: CONCEPTUALIZACIÓN, DESARROLLO Y REFINAMIENTO DEL DISEÑO

En la etapa de *diseño* inicialmente, las especificaciones requeridas del producto son proporcionadas por el cliente a la empresa. Estas especificaciones son:

- a) Fluido que será bombeado.
- b) Caudal requerido.
- c) Temperatura del fluido.
- d) Presión requerida.

Estas especificaciones son la información mínima que se requiere para recomendar un tipo de material para la bomba, el caudal y presión requeridos determinan las dimensiones de la bomba.

Con esta información se tienen dos opciones:

*La primera* es que por el material, dimensiones y caudal se tenga ya un modelo de bomba en tablas (ver Apéndice A) que dé solución a los requerimientos.

*La segunda* es que, por los requerimientos, sea necesario hacer un nuevo diseño que no esté contemplado en la lista de modelos; entonces se procede a realizar una investigación para dar una solución.

Planteada ya sea la primera o segunda opción se realiza una cotización y se le da respuesta al cliente de los precios y servicios que se ofrecen.

Hasta aquí se ha cubierto una primera parte de la etapa de diseño que es la *conceptualización*, es decir, una aproximación de la tecnología, principios de funcionamiento y forma de un producto (Ulrich y Eppinger 1995).

Se habla de *desarrollo* (como segunda parte en la etapa de diseño) cuando ya se conocen las dimensiones finales y material de la futura bomba, y se hace una aproximación de la forma de manufactura, pruebas y operación.

Una vez que el cliente tiene la propuesta, la empresa espera la decisión del cliente. Al darse ésta como positiva, se toma nota de sus comentarios y se procede a la realización del *refinamiento del*

*diseño* (la tercera parte en la etapa de diseño), donde ya con detalle, se establecen los planos de fabricación.

En el caso que se estudia para esta tesis los requerimientos fueron los siguientes:

La empresa solicitante requiere de una bomba para bombear aceite SAE 100 a una temperatura de 100°C y un caudal de 9 lpm. Se menciona que es para uso continuo.

Como respuesta a esta solicitud se encuentra el **modelo B10.2** (ver Apéndice A) que opera a una velocidad de 1750 rpm., caudal de 8.9 lpm. Y una presión de 10 kg/cm<sup>2</sup> y que opera con un motor de 0.5 hp. El material que está en contacto con el aceite es acero AISI 1080.

Copia de los planos de esta bomba son presentados en el apéndice B.

### 2.3.2 MANUFACTURA: PLAN DE MANUFACTURA

Por razones de costos, la empresa no realiza la manufactura de los componentes de las bombas, se deja esta actividad a un taller con las instalaciones adecuadas para dar las dimensiones y ajustes solicitados en los planos.

En esta etapa, los planos de definición (apéndice B) y el material son proporcionados a este taller para realizar la manufactura de los componentes de la bomba.

La manufactura de los componentes se muestra en la tabla 2.2 (para mayor detalle consultar apéndice B):

**Tabla 2.2 Descripción de la manufactura de los componentes en la bomba**  
(ver figura 3.1)

Componente	Operación (es)	Máquina y/o Hra.	Dimensiones
Cuerpo	1) Fundición en arena	Molde	----
	2) Cilindrado de las cavidades de bombeo:		
	a) Donde patina el disco impulsor	Torno	Ø 92mm por 15mm de prof.
	b) Donde patina la estrella (dejando material para la luna)	Torno	Ø 63 mm por 10mm de prof.
	3) Barrenos:		
	a) Donde empotra parte del balero de la estrella.	Fresadora	Ø 27mm por 3mm de prof.
	b) Donde empotra el perno de la estrella	Taladro de banco	Ø 12.70mm por 16mm de prof.
	4) Barrenos para los pasajes de descarga y de succión (cantidad 2).	Taladro de banco	Ø 33mm por 44mm de prof.
	5) Cuerdas para los pasajes de descarga y de succión (cantidad 2).	Torno	Ø 1/4" NPT por 44mm de prof.
	6) Barrenos para los tornillos de cierre de la bomba, uno a cada 60° (cantidad 6).	Taladro de banco	Ø 3/8" STD: por 20mm de prof.
7) Machuelado para los tornillos de cierre de la bomba (cantidad 6).	A mano	Ø 3/8" pasados	
8) Barrenos para la cimentación de la bomba (cantidad 2).	Taladro de banco	Ø 3/8" pasados.	
9) Machuelado en los barrenos para la cimentación de la bomba (cantidad 2).	A mano	Ø 3/8"	
10) Refrentado en la cara de contacto con la tapa.	Torno	----	

*Material:*  
Hierro  
ASTM-48

Tabla 2.2 Continuación

Componente	Operación (es)	Máquina Y/o Hta.	Dimensiones
Cubierta       Material:  Hierro ASTM-48	1) Fundición en arena.	Molde	----
	2) Cilindrado interior (donde se apoyan los baleros)	Torno	Ø 47mm x 44mm de largo.
	3) Roscado interior (donde atornilla el tornillo de precarga).	Torno	Ø 49.9mm de 12 HPP.
	4) Cilindrado interior (donde sella el tornillo de precarga con el arosello)	Torno	Ø 50.5mm por 15mm de largo.
	5) Caja donde se alojará el arosello del cuerpo-cubierta.	Torno	3.5mm de ancho por 2 de prof.
	6) Barrenado uno cada 60° (cantidad 6)	Taladro de banco	Ø 10.3mm. pasados
	7) Refrentado en todas las caras que estarán en contacto con el cuerpo.	Torno	----
Impulsor	Se divide en tres partes que son:  <i>La flecha,</i>		
	Material AISI 1018.		
	1) Tres cilindrados:		
	a) Donde se apoyan los baleros y el separador.	Torno	Ø 17mm por 41 mm de largo.
	b) Donde se coloca el sello mecánico.	Torno	Ø 15.87mm por 90 de largo.
c) Donde se empotra con el disco impulsor	Torno	Ø 15.90mm por 13 de largo.	
2) Cuñero.	Fresadora	4.76 x 2.38mm por 30mm de largo.	
3) Chaflán (lado del cuñero)	Torno	1 x 45°	
4) Matar filo (en el lado donde empotra con el disco impulsor).	Torno	----	

Tabla 2.2 Continuación

Componente	Operación (es)	Máquina y/o Hta.	Dimensiones
Impulsor (continuación)	<i>El disco impulsor</i>		
	Material AISI 4140T.		
	1) Barrenado (uno a cada 60°, cantidad 6).	Taladro de banco	Ø 10.32mm pasados.
	2) Barrenado (donde empotra la flecha)	Taladro de banco	Ø 15.88mm pasado.
	3) Rimado (en los seis barrenos).	Rima manual	----
	4) Refrentado (en una cara del disco).	Torno	13 mm de grueso
	5) Cilindrado en la otra cara del disco (donde recarga el costado de la pista interna del balero).	Torno	Ø 22mm por 1mm de grueso
	6) Refrentado.	Torno	Grueso 12 mm.
	7) Cilindrado (al disco se le da el diámetro especificado)	Torno	Ø 91.5mm por
	<i>Pernos (cantidad 6)</i>		
	Material AISI 4140T.		
	1) Torneado de una barra	Torno	Ø 10.32mm por 201 mm.
	2) Cortar pernos (cantidad seis).	Torno	Ø 10.32mm por 20.10 mm.
Estrella  Material ASTM-48.	1) Cortar un disco.	Torno	Ø 62.95mm por 10mm de ancho
	2) Fresado de los escotes (para formar los picos de la estrella cantidad 6).	Fresadora	Radio 14.33mm.
	3) Barreno (donde empotra el balero de la estrella)	Taladro de banco	Ø 28mm en el centro. Pasado

Tabla 2.2 Continuación

Componente	Operación (es)	Máquina Y/o Hta.	Dimensiones
Tornillo de precarga          Material AISI 1045	1) Cilindro	Torno	Ø 51mm por 43.7mm.
	2) Barreno (por donde atraviesa la flecha hacia el elemento impulsor).	Taladro de banco	Ø 17mm. Pasado.
	3) Dos cajas.		
	a) Donde apoya la primera parte del sello mecánico.	Torno	Ø 41.8mm por 20.7mm.
	b) Donde apoya la segunda parte del sello mecánico.	Torno	Ø 31.7mm por 9mm.
	4) Cilindrado exterior (en lado de salida de las cajas anteriores).	Torno	Ø 50.2mm por 30.7mm
	5) Roscado (con esta cuerda se ajusta la posición del impulsor)	Torno	Ø 49.9mm de 12 HPP con 13 mm de largo
	6) Caja (para el arosello).	Torno	4mm x 3mm prof.
	7) Cilindrado exterior (al lado opuesto de la salida de las cajas).	Torno	Ø 45.9mm por 13 mm de largo
8) Roscado (donde hace cuerda con la contratuerca)	Torno	Ø 45.9mm de 18 HPP con 10 mm de largo	
9) Barrenos (con los que se aprieta o afloja el tornillo de precarga. Cantidad 2).	Taladro de banco	Ø de 1/4" y prof. de 1/4". La distancia entre centros es de 30mm.	
Espaciador  Material cold roll.	1) 2) Cortar un cilindro.	Torno	Ø 21mm por 13mm de largo
	3) Barreno.	Taladro de banco	Ø 17.5mm. pasado.

Tabla 2.2 Continuación

Componente	Operación (es)	Máquina Y/o Hta.	Dimensiones
Contratuerca  Material rolado en frío 12L14	1) Se corta un cilindro sólido.	Torno	Ø 65mm x 9.5mm.
	2) Barrenado.	Taladro de banco	Ø 45.9mm pasado.
	3) Rosca.	Torno	Ø 45.9mm x 18 HPP
	4) Fresado (se hacen los planos en el contorno hasta formar la tuerca con sus seis lados).	Fresadora	57.2 mm la dist. entre lados
Perno de la estrella  Material AISI 4140T	1) Cortar un cilindro sólido.	Torno	Ø 16mm por 21mm
	2) Cilindrado hasta dar las dimensiones: a) Donde empotra con el cuerpo de la bomba. b) Donde patina el balero de la estrella.	Torno  Torno	Ø 12.70mm por 11mm.  Ø 15.00mm por 10mm
	3) Matan filos en ambos lados.	Torno	----

Así hecha la manufactura de las partes por el taller, los componentes de la bomba se mandan a la empresa para su verificación y ensamble

### 2.3.3 ENSAMBLE: VERIFICACIÓN Y ESQUEMA DE ENSAMBLE

Al llegar las piezas de su manufactura, estas son inspeccionadas visualmente, para posteriormente verificar todas sus medidas a detalle y sobre todo se verifican las tolerancias solicitadas en los planos (apéndice B). A la par de que se ensamblan las piezas, éstas se van verificando en la forma en como se van relacionando con las demás.

La bomba se ensambla en la forma que se describe en la tabla 2.3 (un análisis más a detalle se hace en el capítulo tres):

**Tabla 2.3 Procedimiento de ensamble para la bomba (ver figura 3.1)**

Descripción	Herramienta
1) El perno de la estrella, se inserta en el cuerpo.	Prensa
2) El balero de la estrella se coloca en esta.	Prensa
3) El balero y la estrella ya juntos, se unen al perno que esta ya en el cuerpo de la bomba. Enseguida se hace girar la estrella, verificando que esta patine libre y de forma uniforme.	Manualmente
4) En una secuencia independiente se ensambla el impulsor:	
a) Los pernos del impulsor se incorporan al plato impulsor	Prensa
b) El plato y los pernos se incorporan a la flecha del impulsor. Se verifica que los pernos queden de un lado al ras del plato impulsor y por el otro lado que todos los pernos tengan la misma altura. De ser necesario se hace un refrentado de los pernos en el torno.	Prensa
5) Al impulsor ya armado se le incorporan diversos elementos como lo son:	
a) Primer balero.	Prensa
b) Separador.	Manualmente
c) Segundo balero.	Prensa
d) Sello mecánico.	Manualmente
6) Terminado el subensamble, se verifica que los baleros giren libre y correctamente y que el sello mecánico este bien colocado.	Manualmente
7) El impulsor ya armado se apunta y se introduce en la cubierta.	Prensa
8) Se verifica que el impulsor gire libremente y sin cabeceos.	Manualmente
9) Se coloca el arosello cuerpo-cubierta.	Manualmente
10) La cubierta ya armada se apunta y se dirige hacia el cuerpo, buscando la coincidencia de los agujeros de los tornillos de cierre. Se verifica que el contacto entre las dos caras (cuerpo-cubierta) sea libre y uniforme	Manualmente

Tabla 2.3 Continuación

Descripción	Herramienta
11) Apuntados los agujeros, se colocan uno a uno los tornillos de cierre, apretándolos hasta donde es posible.	Manualmente
12) Se verifica que los tornillos este bien dirigidos y se aprietan uniformemente.	Llave española de 3/8".
13) Al tornillo de precarga se le incorpora su arosello.	Manualmente
14) Se apunta y se atornilla el tornillo de precarga hasta donde es posible.	Manualmente
15) Se atornilla la contratuerca hasta donde es posible	Manualmente

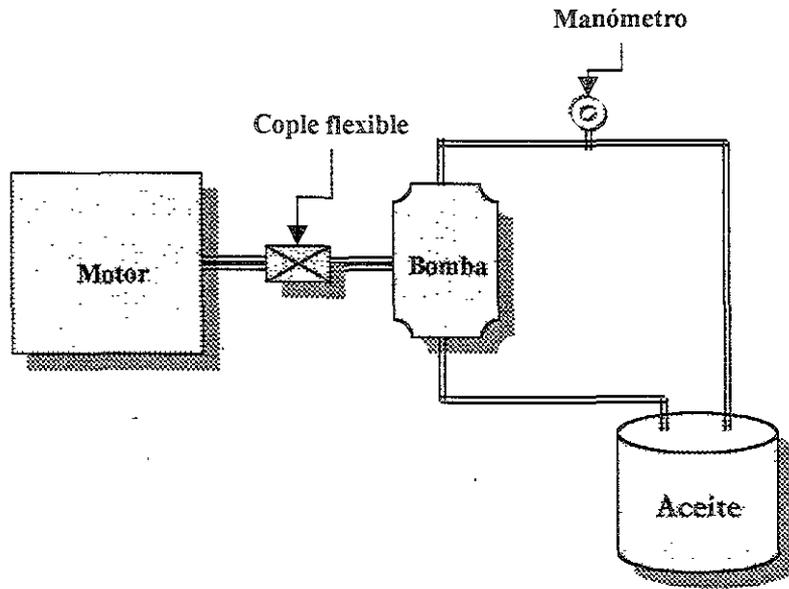
Luego de realizar las operaciones descritas en la tabla 2.3 se tiene la bomba completamente ensamblada. El tornillo de precarga y la contratuerca se dejan en las condiciones descritas en los apartados 14 y 15, de la tabla anterior porque posteriormente se les dará el apriete final, cuando se ajusten a los requerimientos de caudal solicitados.

El ensamble de la bomba es analizado en la sección 3.3.1.

#### 2.3.4 PRUEBAS: PRUEBAS AL PRODUCTO (FUNCIONAMIENTO Y CALIDAD)

Una primera etapa de pruebas a la bomba ya se mencionó, y fue cuando se realizó la inspección y verificación de las dimensiones y tolerancias de los componentes.

Otro tipo de prueba que se les hace a todas las bombas, es la calibración. Esta prueba consiste en conectar la bomba en un circuito cerrado (ver figura 2.5) con una muestra del fluido tipo para el que fue requerida. Así mismo se emplea un motor con variador de potencia para dar en lo posible las mismas condiciones de los requerimientos. Para el caso de estudio se empleo aceite y un motor de 1/2 Hp.



**Figura 2.5** Esquema del banco de pruebas para la calibración de las bombas tipo estrella

El proceso de prueba consiste en que una vez dispuesta la bomba como en la figura 2.5, se hace funcionar el motor y con un manómetro se comprueba que la bomba esté proporcionando la presión requerida. De no ser así, se apaga el motor y se aprieta el tornillo de precarga un poco (se aprieta porque de antemano se sabe que está flojo). Después se vuelve a arrancar el motor y se lee la presión en el manómetro. Este proceso se sigue hasta alcanzar la presión requerida. Si se da el caso de que se apriete de más al tornillo de precarga, entonces se afloja y se arranca de nuevo el motor, al hacer esto, la presión que se genera en las cavidades de bombeo hace que el aceite desplace el impulsor hacia atrás hasta topar con el tornillo de precarga.

Entonces, la función del tornillo de precarga es, la de equilibrar la fuerza de empuje causada por la presión de bombeo y mantener al impulsor a una distancia adecuada para que la bomba proporcione la presión solicitada.

Una vez alcanzada la presión deseada se deja a la bomba trabajar por 10 minutos. En este periodo se verifica que la bomba no produzca ruidos extraños y que la presión se mantenga constante.

Terminadas las pruebas, se saca a la bomba del banco de pruebas y se extrae el aceite que quedó dentro de la bomba por la prueba. Enseguida se pinta la bomba con pintura de aceite, y se verifica que el estado general de la bomba sea el correcto, esto es, que el cuñero esté en buen estado y en general la bomba tenga buena apariencia.

### 2.3.5 USO Y OPERACIÓN DE LA BOMBA

Luego de su venta, la bomba fue instalada en una fábrica dedicada a la inyección de aluminio. La bomba, se emplea para hacer circular aceite por un intercambiador de calor. Este aceite se emplea para enfriar una máquina de inyección de aluminio tipo TRIULZ. Las condiciones de trabajo se muestran en la figura 2.6.

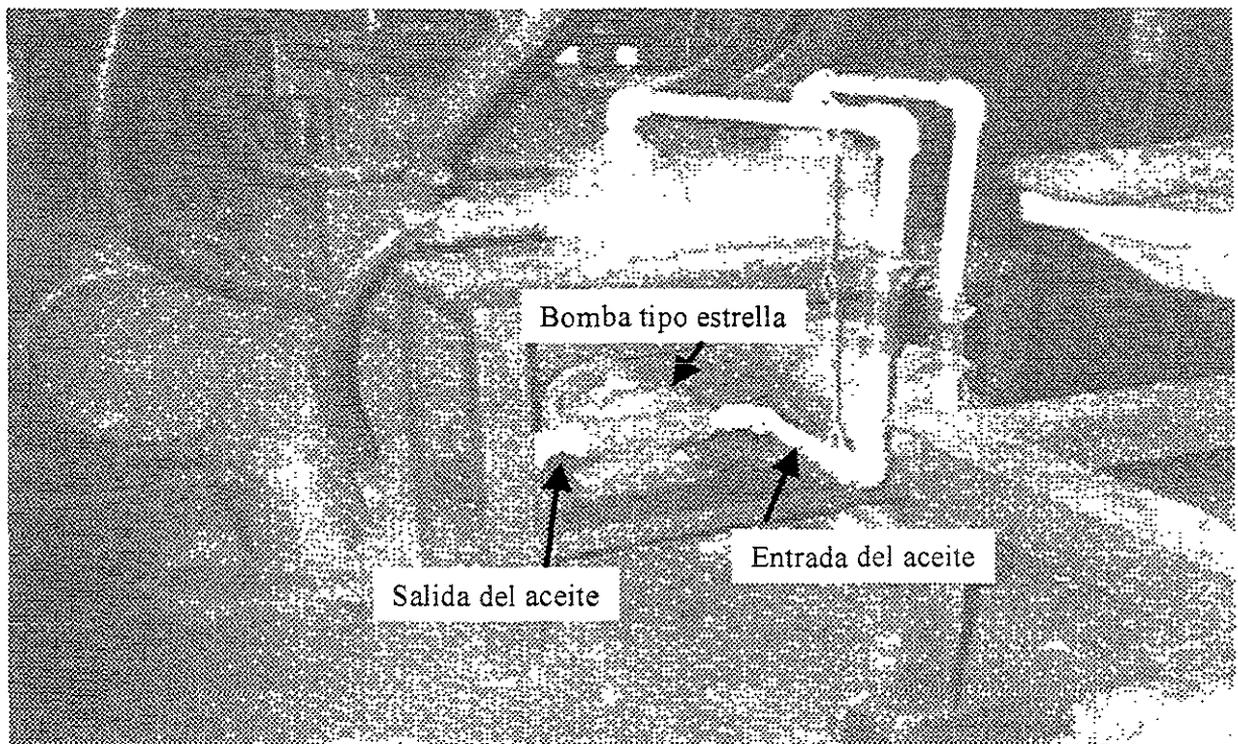
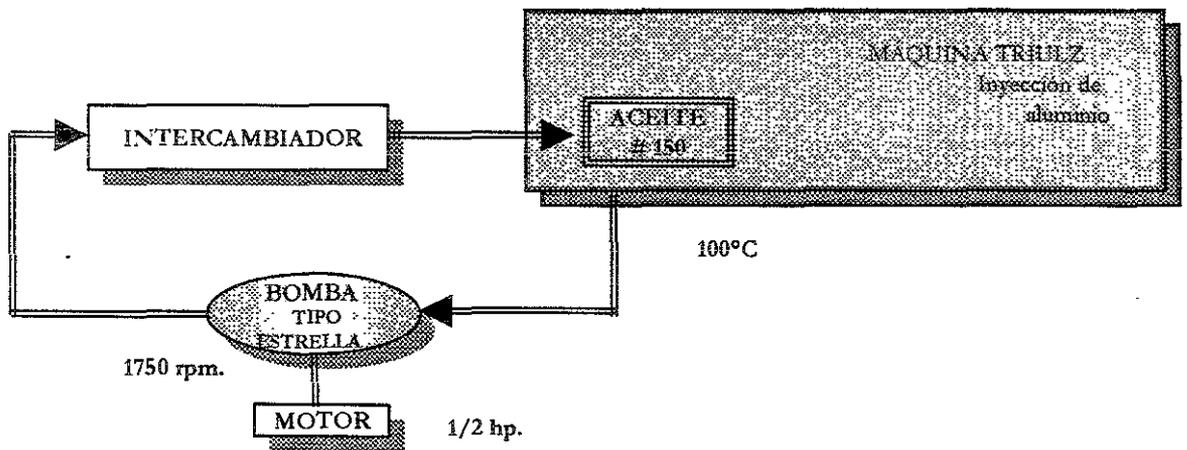


Figura 2.6 Distribución y condiciones en las que trabaja la bomba del caso de estudio

Esquemáticamente estas condiciones de trabajo se ilustran en la figura 2.7.

Esta máquina TRIULZ, y la bomba en consiguiente, se encuentra trabajando cuando menos 2 turnos y en ocasiones hasta 3 turnos de 8 hrs cada uno. La bomba hace circular aceite en diferentes condiciones, es decir, si éste es aceite nuevo o simplemente ha sido filtrado. La limpieza del aceite o filtrado se hace cada 5 semanas y después de la tercera filtración se cambia por aceite nuevo. El tipo de aceite cuando es nuevo se selecciona dependiendo de la máquina, esto es, si la máquina es nueva se usa aceite SAE 68 y posteriormente se tiende a utilizar aceite más viscosos. Actualmente la bomba funciona para aceite de grado SAE 150.



**Figura 2.7 Distribución y condiciones en las que trabaja la bomba del caso de estudio**

La bomba, junto con el motor de 1/2 hp, se localiza a 1 m de la máquina de inyección y a 0.5m del intercambiador. La bomba está atornillada a un banco de fierro y éste a su vez empotrado en el suelo con taquetes expansivos lo que le da bastante firmeza.

La tubería es de PVC 3/4" con cuerda NPT. El diámetro de la tubería se mantiene constante a lo largo de todo el recorrido del aceite. Ver figura 2.6.

### 2.3.5.1 RECOMENDACIONES DE LA EMPRESA EN INSTALACIÓN Y OPERACIÓN

La buena operación y larga vida de la bomba dependen primordialmente de una instalación adecuada.

La bomba debe ser localizada lo más cerca posible a la fuente de suministro de líquido, de tal manera que la pérdida estática de succión sea mínima y la tubería de succión lo más directa y corta. Es importante considerar el espacio necesario para poder llevar a cabo su inspección durante la operación y el mantenimiento.

Algunos aspectos importantes a considerar durante la instalación son los siguientes:

#### a) Cimentación.

La cimentación debe ser lo suficientemente robusta para absorber cualquier vibración y soportar en forma permanente la base del equipo. Una cimentación de concreto en terreno es satisfactoria.

#### b) Alineación.

Cuando la unidad completa (motor y bomba) es ensamblada en la fábrica y montada en una base ésta se alinea antes de embarcarse. Sin embargo, todas las bases son flexibles por lo que resulta necesario verificar la alineación después de haber nivelado el equipo en la cimentación y otra vez después de colocar y apretar los tornillos de anclaje. La alineación también debe verificarse después de conectar la unidad de las tuberías y periódicamente siguiendo el procedimiento mencionado más adelante.

Hay dos tipos de desalineamiento entre la flecha de la bomba y la del motor:

1. Desalineamiento angular: Flechas con ejes concéntricos pero no paralelos.

## 2. Desalineamiento axial: Flechas con ejes paralelos pero no concéntricos.

Antes de alinear el equipo se debe nivelar. Para nivelar la unidad bomba-accionamiento-base sobre la cimentación, las dos unidades del cople deben ser desconectadas y no deben ser conectadas hasta que todas las operaciones de alineación hayan sido terminadas.

La base debe soportarse sobre bloques de metal rectangulares o cuñas. Estos bloques deben ser colocados cerca de los tornillos de anclaje y deben ajustarse hasta lograr que la bomba y el accionamiento estén nivelados.

Las herramientas necesarias para obtener una alineación aproximada son una regla y calibrador de laines.

La alineación angular se realiza insertando el calibrador de laines en cuatro puntos espaciados 90 grados alrededor del cople entre las caras y comparando la distancia.

La unidad estará alineada angularmente cuando la distancia entre las dos caras sea igual en todos los puntos.

La alineación axial se realiza colocando una regla a través de la periferia de las dos partes del cople en el punto superior, inferior y en cada uno de los lados.

La moto-bomba estará alineada axialmente cuando la regla descansa perfectamente sobre las dos partes del cople en todos los puntos.

El desalineamiento angular y axial son corregidos con laines bajo los apoyos del motor. Después de cada cambio es necesario verificar nuevamente la alineación de las partes del cople.

**c) Tuberías.**

Las tuberías de succión y de descarga deben ser soportadas independientemente cerca de la bomba de tal manera que no transmitan esfuerzo a la cabeza de la bomba al ser acopladas.

Se debe tener cuidado de que no existan materiales extraños en las tuberías antes de acoplarlas a la bomba.

**d) Tuberías de succión.**

La tubería de succión debe ser tan directa y corta como sea posible y por lo menos una medida mayor que la conexión de la bomba, excepto cuando la línea de succión no deba permitir la entrada de aire, ni la formación de bolsas de aire.

**e) Válvula de alivio.**

Para proteger la bomba y el sistema de tuberías contra presiones excesivas cuando la descarga es estrangulada, se debe usar una válvula de alivio. El puerto de retorno de la válvula se debe conectar al depósito de suministro o tan cerca como sea posible.

**f) Rotación del motor.**

La rotación de la bomba es en el sentido de las manecillas del reloj (salvo que se indique lo contrario) vista desde el cople. La rotación del motor que impulsará a la bomba, se debe verificar con el acoplamiento desconectado.

**g) Puesta en marcha.**

Antes de poner en marcha la bomba se recomienda introducir algo de líquido en la descarga de la bomba para asegurar que el elemento rotativo no este seco.

### **2.3.6 MANTENIMIENTO Y SERVICIO DE LA BOMBA**

La bomba en estudio ha sido utilizada por un periodo de 15 años; durante ese periodo según informa el encargado de mantenimiento, a la bomba no se le dio ningún tipo de mantenimiento hasta su falla en agosto de 1999.

Lo sucedido fue que a la tercera semana de haber limpiado el aceite (filtrado), la bomba empezó a mostrar vibración, sonidos, baja en el caudal del aceite y calentamiento en la máquina.

Esto motivó al encargado de mantenimiento ha desmontar la bomba y desarmarla. La falla que se observó y concluyó fue que la bomba se trabó y que un pico de la estrella se rompió; no se pudo encontrar el pedazo faltante, ni el material causante de que se trabara. Tras este hecho se le llama a la empresa para su reparación. La bomba fue entregada desarmada.

Dando el mantenimiento respectivo a la bomba ya en la empresa, lo que procedió fue hacer nuevamente la estrella y cambiar los baleros. De los baleros y el sello mecánico se dijo que estaban en buenas condiciones y sin embargo se cambiaron como mantenimiento preventivo. De los demás elementos se encontró que estaban en buenas condiciones por lo que se siguen empleando.

#### **2.3.6.1 RECOMENDACIONES DE LA EMPRESA EN MANTENIMIENTO Y SERVICIO DE LA BOMBA**

Se recomienda revisar la bomba cada 3 000 horas de trabajo con el fin de verificar el estado de sus componentes, principalmente los baleros, los cuales en caso de no estar en buen estado deben sustituirse para evitar desgastes innecesarios en los demás elementos de la bomba.

La secuencia para desarmar la bomba se describe a continuación (este aspecto de ensamble y desensamble de la bomba serán tratados más a detalle en el siguiente capítulo), ver figura 2.8 (la figura 2.8 es la misma que la figura 2.3).

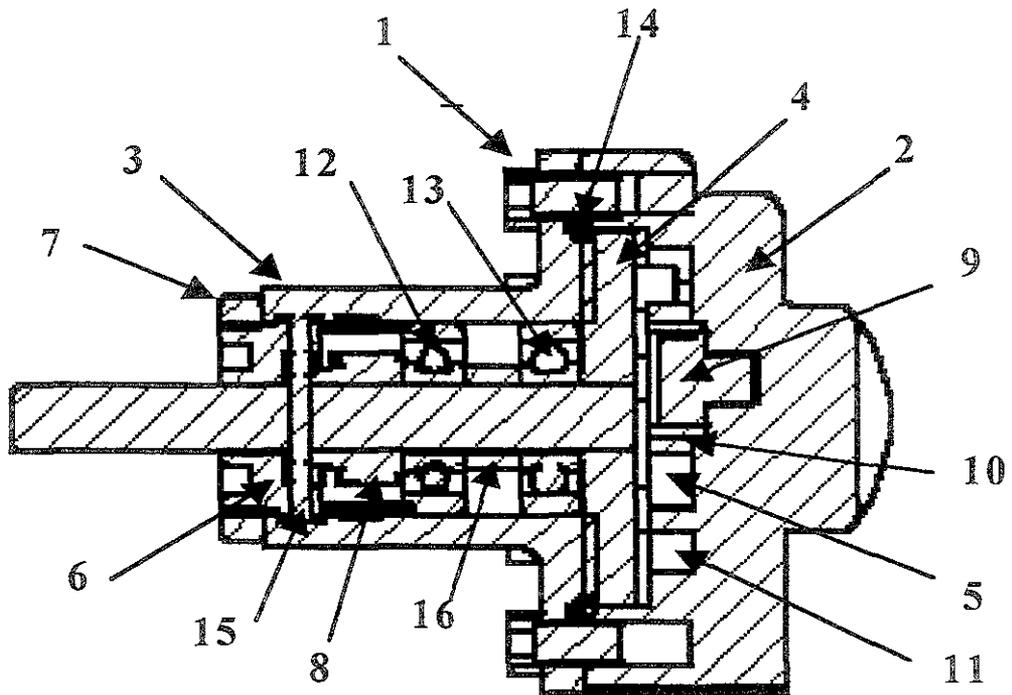


Figura 2.8. Diagrama de componentes de la bomba (figura repetida de 2.3).

1. Quitar los tornillos (1) que unen el cuerpo (2) con la cubierta (3).
2. Sacar hacia atrás la cubierta.
3. Verificar el estado de la estrella (5) el balero (s) de la estrella (10) el impulsor y el cuerpo (2).
4. Para remover el impulsor de la cubierta se requiere quitar la contratuerca (7) y el tornillo de ajuste (6) y sacar el sello mecánico (8). Empujando el impulsor por la flecha se desmonta.
5. Verifique el estado de los baleros (12 y 13).
6. Para ensamblar el impulsor a la cubierta nuevamente proceda de manera inversa al punto cuatro, cuidando que el tornillo de ajuste quede con un apriete que no impida el giro libre del impulsor. Una vez verificado esto, colocar la contratuerca.

Las refacciones que se recomienda tener en el almacén son los mostrados en la tabla 2.2:

Las refacciones se pueden solicitar a la empresa que vendió la bomba haciendo mención del modelo de la misma.

Tabla 2.2 Lista de refacciones.

REFERENCIA*	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
14	Arosello cuerpo/cubierta.	1
5	Estrella.	1
8	Sello mecánico.	1
15	Arosello tornillo de ajuste.	1
10	Balero (s) de la estrella.	1
12	Balero impulsor.	1
13	Balero impulsor.	1

\* Ver figura 2.8.

### 2.3.6.1.1 POSIBLES FALLAS Y SUS CAUSAS

Algunas fallas en las bombas y sus causas pueden ser las que se mencionan a continuación:

#### a) Descarga nula

La ausencia de gasto de la bomba se puede deber a las siguientes causas:

- ▣ La bomba no está cebada.
- ▣ Pérdidas altas en la succión.
- ▣ Rotación invertida.
- ▣ Succión obstruida.
- ▣ La bomba succiona aire.
- ▣ La válvula de alivio está desajustada o el asiento no sella por la presencia de algún material extraño.
- ▣ Descarga obstruida.

## b) Descarga insuficiente

El gasto insuficiente de la bomba puede ser originado por alguna de las siguientes condiciones:

- ▣ La bomba toma aire en la succión o en el sello mecánico.
- ▣ La velocidad es menor a la de operación.
- ▣ Pérdidas muy altas en la succión.
- ▣ Cabeza de succión insuficiente.
- ▣ Filtro muy chico u obstruido.
- ▣ Tubo de succión no sumergido lo suficiente.
- ▣ Instalación inadecuada de la tubería permitiendo la entrada de aire a la bomba.
- ▣ Succión obstruida.
- ▣ Viscosidad del líquido bombeado superior a la especificada.
- ▣ La válvula de alivio está desajustada o el asiento no sella por la presencia de algún material extraño.
- ▣ Defectos mecánicos: bomba desgastada o dañada o sello defectuoso.

## c) Pérdidas de succión después de un periodo de operación satisfactorio

La pérdida de succión se puede deber a las siguientes causas:

- ▣ Entrada de aire en la línea de succión.
- ▣ Pérdida muy altas en la succión.
- ▣ Aire en el líquido.
- ▣ Defectos mecánicos: bomba desgastada o dañada o sello desgastado.

## c) Consumo excesivo de potencia

El consumo excesivo de potencia puede ser causado por las siguientes condiciones:

- ▣ Velocidad muy alta.

- Líquidos más pesados o más viscosos de lo especificado.
- Línea de succión o descarga obstruidas.
- Presión de trabajo mayor que la especificada.
- Defectos mecánicos: la flecha está curva, elemento rotativo apretado, sello mecánico o empaquetaduras muy apretadas
- Desalineamiento.

#### d) Golpe de ariete, vibración, o ruido

El golpe de ariete, vibración o ruido puede ser causado por muchos factores, entre ellos:

- Aire o gas en el líquido bombeado. Esto puede ser resultado de:
  - Entrada de aire en la línea de succión.
  - Tubo de succión no sumergido lo suficiente.
  - Aire disuelto en el líquido de la fuente de suministro.
  - Vaporización de pequeñas fracciones de líquido bombeado.
- Cavitación causada por una o varias de las siguientes condiciones:
  - Velocidad de succión muy elevada.
  - Presión de vapor del líquido muy alta.
  - Pérdida muy alta en la succión.
  - Oscilación de la válvula de alivio.
  - Defectos mecánicos.

## 2.4 DESECHO O RECICLAJE DE LA BOMBA

Por los materiales empleados en la bomba se puede decir que ésta tiene un alto grado de reciclabilidad, esto es, todas las partes son de algún tipo de acero, o de hierro. Hay dos excepciones; el sello mecánico por estar compuesto de elastómeros en las gomas (que son también altamente reciclables) y de acero en el resorte, la otra excepción son los arosellos que son de polímeros también reciclables.

A la bomba del caso de estudio se le cambiaron los dos baleros del impulsor y el sello mecánico. La forma en que se reciclaron estos materiales es la ir almacenando estos materiales para su posterior venta como desecho industrial. Se entiende que, posteriormente a esto, todos los desechos industriales del tipo aceros son fundidos para el reciclaje del material.

La empresa no tiene ninguna recomendación en particular sobre el reciclado de los materiales y/o componentes de la bomba tipo estrella.

## CAPÍTULO 3

# DESENSAMBLE DE LA BOMBA

### 3.1 INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior se dio el primer paso en el proceso de diseñar el ciclo de vida de la bomba, es decir, la *descripción de su ciclo de vida* (ver la sección del objetivo y plan de trabajo). Lo siguiente sería realizar el análisis y evaluación de todas y cada una de las etapas del ciclo de vida de la bomba. Como se ha podido observar esto resulta ser una tarea bastante compleja que requeriría de mucho tiempo y/o de especialistas en cada etapa del ciclo de vida de la bomba trabajando en equipo y realizando las actividades de diseño en forma simultánea (ver sección 1.4).

No obstante esto, en este capítulo se continuará con el proceso que conduce al DCV de la bomba, pero solo para las etapas de mantenimiento y reciclaje y aplicando una técnica en particular, que es el diseño para desensamble (ver sección 1.5). Se toma esta decisión por ser estas etapas de las menos exploradas y las que están cobrando particular importancia en el contexto del *desarrollo sustentable*.

Para desarrollar productos considerando su mantenimiento y reciclaje, se han propuesto diversos métodos y técnicas, uno de los cuales es el *diseño para desensamble* (Harhula, et al. 1996). La importancia del diseño para desensamble radica en que para desechar, reciclar o dar mantenimiento a los productos, lo primero que se hace es desensamblarlos.

Así mismo, se exploran nuevas metodologías en estas áreas como es el caso de la llamada *espina de pescado* y *espina de pescado en sentido inverso*, desarrolladas por Ishii Kosuke; y la *carta de evaluación en desensamble* de Ehud Kroll. Estas técnicas serán básicas en la propuesta final de rediseño de la bomba que se hará en el capítulo siguiente.

### 3.2 ENSAMBLE Y DESENSAMBLE DE LA BOMBA

En la sección 1.5 se presentó el concepto de diseño para desensamblaje y se destacó la importancia de los trabajos realizados por Ishii y Kroll.

Ishii ha desarrollado una metodología para analizar, entender y determinar la modularidad y selección de materiales en los productos desde el punto de vista del reciclaje (Ishii, 1996). Para lograr lo anterior, Ishii desarrolló unas técnicas llamadas *diagrama de espina de pescado* (Ishii, 1996) y *diagrama de espina de pescado inversa* (Ishii, 1995). Estas dos técnicas serán aplicadas a la bomba tipo estrella.

Kroll desarrolló una metodología que permite *calificar* la facilidad de desensamblaje de un producto, mediante el uso de la llamada *carta de evaluación para el desensamblaje* (Kroll, 1996, 1998 y Kroll, Bearsdsley, Parulian, 1996).

En la tabla 3.1 se identifican sus componentes y en la figura 3.1 se ilustra con un dibujo en explosión una bomba tipo estrella típica.

**Tabla 3.1. Partes de una bomba tipo estrella.**

# de parte	Nombre	Cantidad	Material
1	Tomillo	6	Acero
2	Cuerpo	1	Hierro
3	Cubierta	1	Hierro
4	Contratuerca	1	Acero
5	Tomillo de ajuste	1	Acero
6	Arosello tornillo de ajuste	1	Plástico
7	Arosello Cuerpo-cubierta	1	Plástico
8	Impulsor	<i>Subensamblaje</i>	<i>Partes 15-17</i>
9	Sello mecánico	1	Mixto
10	Balero de impulsor	2	Acero
11	Espaciador	1	Acero
12	Balero estrella	1	Acero
13	Estrella	1	Hierro
14	Perno estrella	1	Acero
15	Flecha impulsor	1	Acero
16	Disco impulsor	1	Acero
17	Perno impulsor	6	Acero

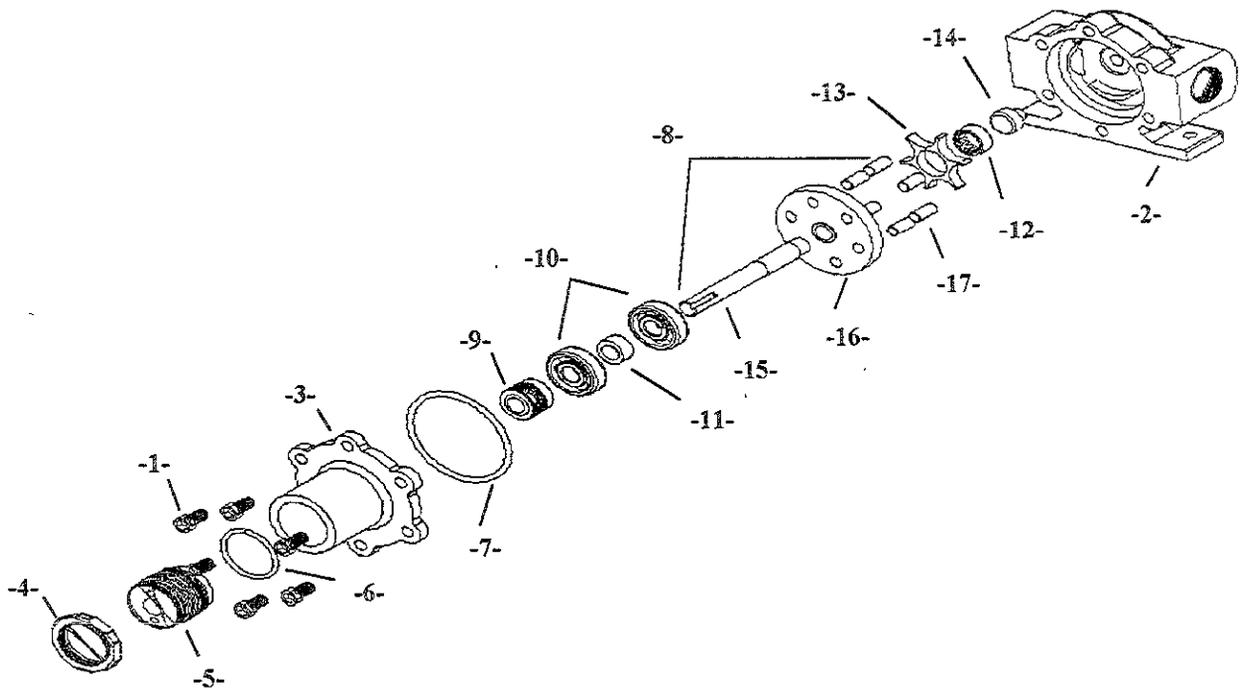


Figura 3.1 Bomba tipo estrella actual

### 3.2.1 ANÁLISIS DEL ENSAMBLE (Según Ishii).

El *diagrama de espina de pescado* es una representación gráfica del proceso de ensamble, Ishii lo describe diciendo que es como “*caminar a través del ensamble*”. Este proceso fuerza a los diseñadores a identificar problemas y proponer soluciones.

El diagrama de espina de pescado para la bomba tipo estrella se ilustra en la figura 3.2.

El procedimiento para la construcción del diagrama es el siguiente:

1. Empezar por la parte de la que otras partes son sujetadas.
2. Partes que son sujetadas directamente se representan con una flecha inclinada. 
3. Las operaciones especiales se denotan con los íconos siguientes.

	Accesorio.
	Rotación (ensamble por volteo o acción de atornillar).
	Sujeción descendente y recta.
	Unión en ángulo.
	Unión desde abajo.
	Unión desde un costado.
	Otros iconos pueden ser definidos si es necesario.

4. Un subensamble consiste de una rama separado, la cual, se sujeta a la rama principal.

Este procedimiento se explica con el caso de la bomba tipo estrella de la siguiente forma:

En la figura 3.2 se pueden distinguir cuatro grupo de líneas descendentes y paralelas indicadas por flechas verticales apuntando hacia abajo. La línea principal (la del extremo izquierdo) siempre inicia con el componente al cual se incorporan las demás partes, en este caso se trata del cuerpo; la línea que le sigue está formada por la estrella, impulsor completo y el tornillo de ajuste; más a la derecha está la línea de la flecha del impulsor y finalmente la del plato impulsor. Ishii señala que en un ensamble se prefiere que los componentes se incorporen lo más directamente posible a la línea principal del ensamble (Ishii 1996).

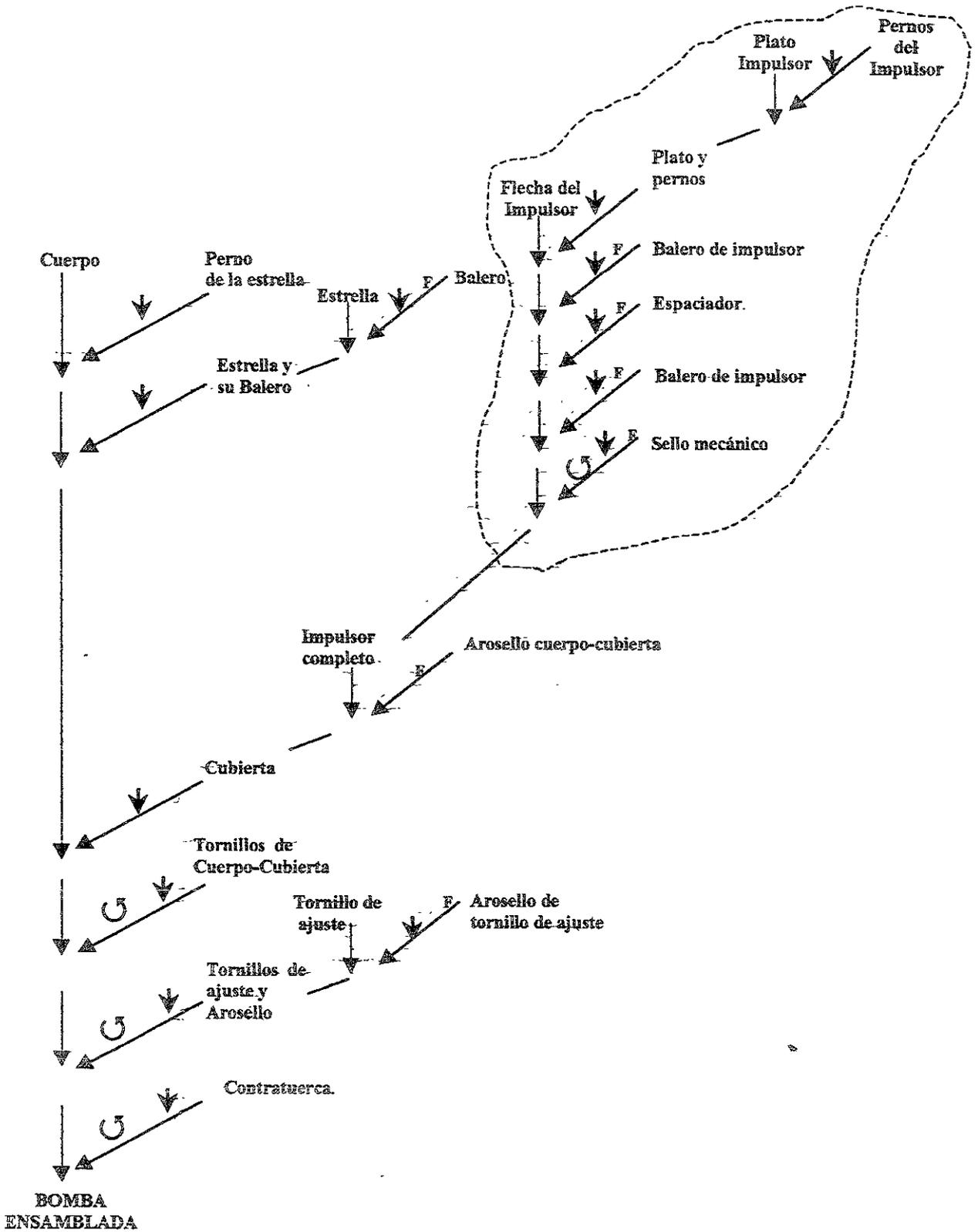


Figura 3.2 Diagrama de espina de pescado para el ensamblaje de la bomba tipo estrella

En la figura 3.2 se encierra con una línea punteada a las dos últimas líneas descendentes, para señalar que bajo este análisis de ensamble que propone Ishii, la forma en que está ensamblado el impulsor (flecha, plato impulsor, pernos y sus accesorios) no es deseable.

También se distinguen seis ramas que se incorporan a la línea principal, las cuales inician con los componentes siguientes: perno de la estrella, estrella y su balero, cubierta, tornillos de cuerpo cubierta, tornillo de ajuste y arosello, y contratuerca. La rama más larga, empieza con la cubierta y termina con los pernos del impulsor. La extensión de esta rama es debida a que por ella pasan las cuatro líneas descendentes mencionadas en el párrafo anterior.

Un aspecto favorable en el ensamble es la forma en que se incorporan los componentes hasta formar la bomba ensamblada, esto es, todos los componentes se sujetan de forma descendente y recta. Esto está representado por el símbolo () que se observa en la mayor parte del diagrama. Existe otra operación en el ensamble que es la de () rotación o acción de atornillar, esto para los casos de: sello mecánico, tornillos de cuerpo cubierta, tornillo de ajuste y arosello, y contratuerca. Así mismo hay otros componentes que son distinguidos por una letra (F) pequeña, refiriéndose a que son accesorios y no son fabricados por la compañía.

### 3.2.2 ANÁLISIS DEL DESENSAMBLE (Según Ishii).

El método de *espina de pescado en sentido inverso* es una representación esquemática que describe la secuencia del desensamble en un producto y especifica la separación de cada componente. A diferencia del esquema de espina de pescado para ensamble, este diagrama aun no cuenta con un conjunto de símbolos (íconos) que indiquen la conducción del desensamble, por lo que se hace necesario abundar en información relevante en cada paso del desensamble.

Antes de iniciar la construcción del esquema, un análisis preliminar del producto es importante, dado que el diseñador se debe enfocar en las áreas del producto que considere críticas

para el desensamble. Se deben identificar los módulos, componentes o partes si se prefiere que estos sean para el mantenimiento, reuso y reciclaje.

El tamaño y la forma del diagrama dan una idea de la complejidad y costos asociados con el proceso de desensamble. Los esquemas largos con muchos niveles no son deseables (Ishii 1995). Los niveles o la longitud del esquema indican el número de las diferentes estaciones en el proceso de desensamble. Los nodos indican el proceso de desensamble/separación.

La forma en se realiza la construcción de diagrama de espina de pescado en sentido inverso se ilustra para el caso de la bomba tipo estrella. Ver figura 3.3.

En estos diagramas se distingue una flecha vertical apuntando hacia abajo, la cual indica la dirección del desensamble. De esta línea principal se pueden observar flechas que apuntan hacia fuera y hacia un recuadro donde se da información sobre la operación (que sea importante en el proceso de desensamble) o sobre el componente que se desensambla, también aparece el tipo de herramienta requerida. A este conjunto de flecha, recuadro y tipo de herramienta se le denomina estación o nivel en el proceso del desensamble.

Para el caso de la bomba se tienen seis estaciones que son: los seis tornillos del cuerpo cubierta, la separación de la cubierta, desensamble de la cubierta, la estrella con su balero, el perno, y una secuencia independiente, la del impulsor.

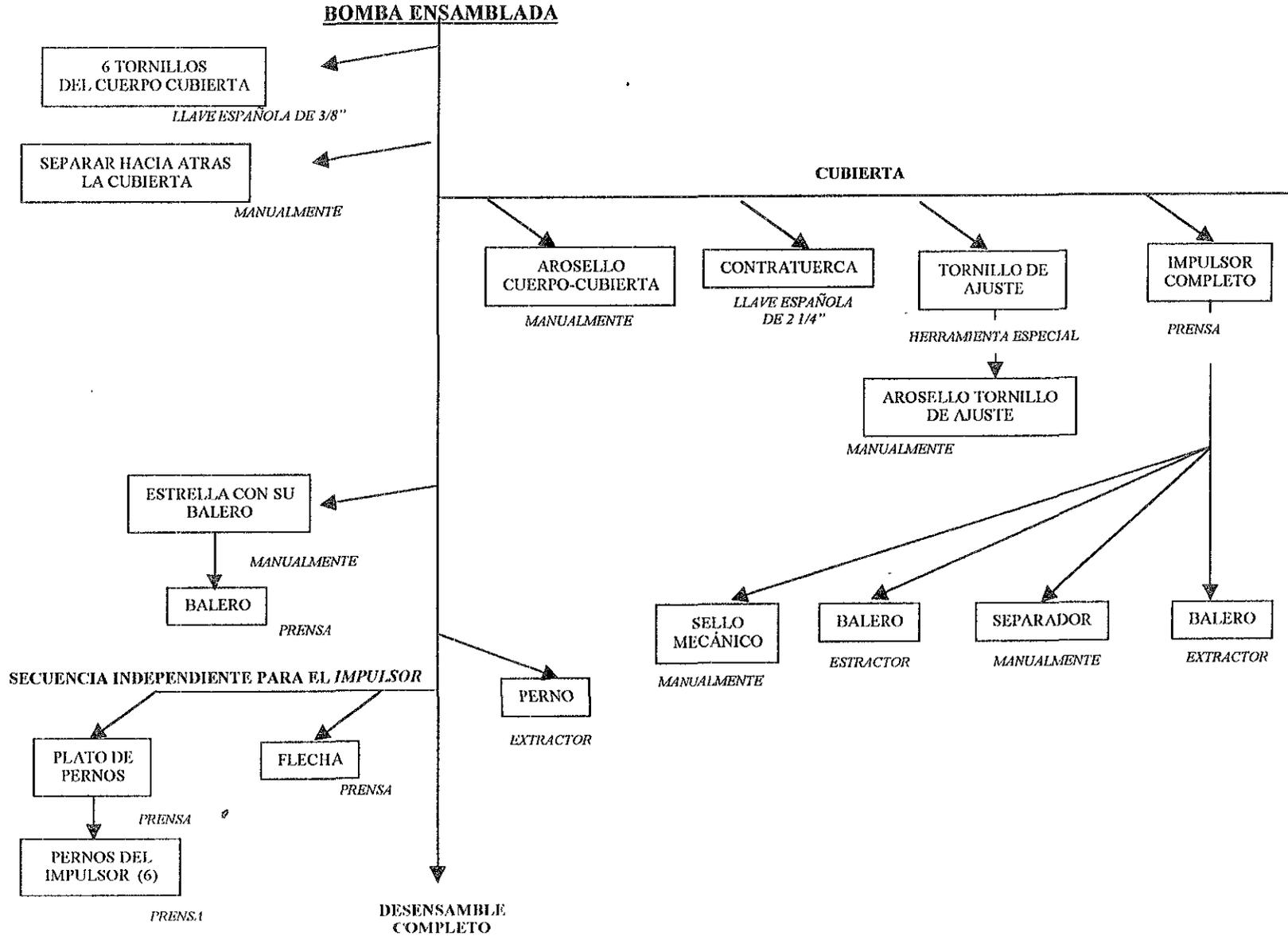


Figura 3.3. Diagrama de espina de pescado en sentido inverso de la bomba tipo estrella

Al igual que en el diagrama para ensamble, aquí se observa que existen partes que de alguna forma no permiten un desensamble progresivo, de estación a estación y que estos desensambles sean directamente de la línea principal hasta llegar a la totalidad del desensamble. Destacan en este sentido la parte del impulsor completo, a partir del cual se desensamblan cuatro componentes más que son el sello mecánico, dos baleros y un separador. Aun más, el mismo impulsor requiere de una secuencia independiente (que hay que dejar la línea de desensamble principal ) para poder lograr un desensamble completo.

Entonces con los análisis de los diagramas de ensamble y desensamble que propone Ishii se puede concluir que el impulsor en sí mismo, y el arreglo que lleva el impulsor (dos baleros, un sello mecánico y separador), son elementos que sacan de ritmo y no permiten un ensamble o desensamble progresivo y directo en la bomba.

### 3.3 EVALUACIÓN DEL DESENSAMBLE EN LA BOMBA (Según Kroll).

La metodología de Kroll se desarrolla conformando la llamada *carta de evaluación para el desensamble*, esta carta asigna una calificación (numérica) a las operaciones de desensamble, con base en el número de partes, tipo y número de operaciones, de las herramientas y de los tiempos requeridos. La evaluación de un producto usando la carta permite identificar las partes en que se debe concentrar el rediseño para mejorar el desensamble. La evaluación de la bomba se presenta a continuación.

Una bomba tipo estrella típica está compuesta por las partes listadas en la tabla 3.1 e ilustradas en la figura 3.2.

Aplicando la metodología propuesta por Kroll obtenemos su *carta de evaluación para el desensamble* la cual se presenta, para el caso de la bomba tipo estrella, en la figura 3.4. Las columnas de la carta se llenaron siguiendo el procedimiento descrito en el apéndice C.

Como ejemplo sobre el procedimiento de cómo se va conformando la tabla se explicará con el caso de los tornillos del cuerpo-cubierta, el número de parte 1.

**Columna 1, No. De parte:** Se refiere a las partes idénticas que se remueven al mismo tiempo y bajo condiciones similares. En este caso a los tornillos de cierre del cuerpo con la cubierta se les asigno el número de parte 1. Se habla de seis tornillos puesto que los seis tienen las mismas características geométricas y para su desensamble se utiliza la misma herramienta.

**Columna 2, Cantidad:** Se indica el número de componentes (su cantidad) que se identifican con el mismo número de parte. Para este caso es de seis.

**Columna 3, mínimo número teórico de partes:** Se refiere a que, con base a criterios de diseño, establecer el mínimo número de componentes que se requieren para hacer la misma función. Para asignar un valor en esta columna es necesario responder a las siguientes preguntas:

1. ¿Durante la operación del producto, los tornillos tiene un movimiento relativo con respecto a las otras partes? La respuesta es NO. Los tornillos permanecen en su posición aún y cuando la bomba está funcionando.
2. ¿Los tornillos deben ser de un material diferente o estar aislados de los demás componentes del cuerpo? La respuesta es NO. No existe una razón que justifique que los tornillos deban ser de un material en particular o que deban estar bajo condiciones especiales
3. ¿Los tornillos deben estar separados de los demás componentes por que de otra forma el ensamble o desensamble de los demás componentes sería imposible? La repuesta es NO. No hay ninguna razón que justifique la necesidad de que los tornillos esten separados de los demás aún ensamblada o desensamblada la bomba.

**Columna 4, Tipo de tarea:** Se refiere a la actividad requerida para lograr el desensamble, en este caso la actividad requerida es destornillar. Esta tarea se representa con las letras Un.

**Columna 5, No de repeticiones de la tarea:** Se refiere al número de veces que es necesario hacer la misma tarea para retirar todos los componentes identificados con el mismo número de parte. Para el caso de los tornillos el número de veces es de seis.

**Columna 6, Tipo de herramienta:** En esta columna se indica qué tipo de herramienta es requerida para realizar el desensamble del componente. Para este caso una llave con extremo fijo.

**Columna 7, 8, 9, 10 y 11; Accesibilidad, Posicionamiento, Fuerza, Tiempo base y Especial:** A cada tarea se le asigna una calificación (del 1 al 10) en los aspectos antes mencionados. Para el caso de la tarea de “destornillar” se utiliza el cuadro de calificaciones para destornillar (Kroll, 1996) el cual se muestra en la figura 3.4.

MANUAL DE DESTORNILLAR			Accesibilidad	Posicionamiento	Fuerza	Tiempo Base	
Tornillo simple o tuerca	Libre		Resistencia ligera	1	2	3	8
			Alta resistencia	1	2	10	8
	Obstruido		Resistencia ligera	2	2	3	8
			Alta resistencia	2	2	10	8
Tornillo simple con tuerca	Perno libre	Tuerca libre	Resistencia ligera	1	3	3	8
			Alta resistencia	1	3	10	8
		Tuerca obstruida	Resistencia ligera	2	3	3	8
			Alta resistencia	2	3	10	8
	Perno obstruido	Tuerca libre	Resistencia ligera	2	3	3	9
			Alta resistencia	2	3	10	9
		Tuerca obstruida	Resistencia ligera	3	3	3	9
			Alta Resistencia	3	3	10	9

**Figura 3.4 Cuadro de calificaciones para la tarea de destornillar manualmente (Kroll, 1996)**

En los tornillos de cierre en el cuerpo-cubierta se consideró que se trataba de un tornillo sencillo, libre de obstáculos y con resistencia ligera, esto es:

- Accesibilidad: 1 (columna 7)
- Posicionamiento: 2 (columna 8)
- Fuerza: 3 (columna 9)
- Tiempo base: 8 (columna 10)

La columna 11 se deja en blanco puesto que no se presenta ninguna circunstancia especial.

**Columna 12, Subtotal:** se refiere a la suma de los valores de las columnas 7 a la 11; para este caso es de 14.

**Columna 13, Total:** Finalmente el total de la evaluación para el caso de los tornillos es de 84, lo cual resulta de multiplicar los valores de las columnas 12 y 5.

**Columna 14, Comentarios:** Esta columna se establece para en caso en que sea necesario dar más información o hacer algún comentario de importancia.

De esta forma se ha completado el primer renglón, el del número de parte 1. De forma similar se va conformando toda la Carta de Evaluación en Desensamble. En particular para los casos con número de parte 4 y 5 se utiliza la misma tabla de la figura 3.4, puesto que son componentes cuya tarea de desensamble es la de destornillar, “Un”.

Desgraciadamente no se cuentan con todas las tablas de las tareas de desensamble. No obstante esto se cuenta con la información necesaria para *estimar* los grados de dificultad para las diferentes tareas que se presentan<sup>1</sup>.

Se explicará esta forma de estimar los grados de dificultad para la tarea de Remover (Re), de las tareas de desensamble que más frecuentemente se presentan en la carta de la bomba.

Primeramente es importante explicar un poco sobre las tablas MOST.

MOST, son las siglas en inglés de “Maynard Operation Sequence Technique”, el cual es un sistema de medición del trabajo. Este sistema está basado en secuencias fijas de sub-actividades de movimientos básicos que son consistentemente repetitivos en el movimiento de objetos y uso de herramientas. Así, el sistema MOST se basa en tres secuencias que son (Niebel 1999 y Salvendy 1995):

---

<sup>1</sup> Un manual completo en la evaluación de las tareas de desensamble fue realizado por Thomas A. Hanft; asesorado por Ehud Kroll en su tesis de maestría en la Universidad de Texas A&M en 1995. Esta tesis lleva por título “QUANTITATIVE ASSESSMENT OF DIFFICULTY IN PRODUCT RECYCLING”.

1. **Secuencia de Movimiento General [S<sub>1</sub>]:** Para movimientos de objetos o de las manos, libres de obstáculos a través del aire.
2. **Secuencia de Movimiento Controlado [S<sub>2</sub>]:** Para movimiento de objetos o de las manos, restringidos de alguna forma.
3. **Secuencia de Uso de Herramientas Manuales [S<sub>3</sub>]:** Para el uso de herramientas manuales o de las manos.

Cada sub-actividad en las secuencias anteriores se representa por una serie de letras, esto es:

**A** = Distancia de acción (principalmente movimientos horizontales de las manos o del cuerpo)

**B** = Encorvarse (principalmente movimientos verticales del cuerpo).

**G** = Asir.

**P** = Colocar.

**L** = La operación de la herramienta.

Estas letras también son acompañadas por subíndices relacionados con el tiempo (menor es el tiempo para hacer la sub-actividad, menor será la magnitud del subíndice); estos subíndices son: **0, 1, 3, 6, 10 y 16**.

Entonces con las tres secuencias y a través de sus sub-actividades, es posible hacer una descripción general de las tareas de desensamble de un producto o componente (Kroll 1996 y 1998).

El sistema MOST se empleará para obtener los valores de grado de dificultad para el caso del arosello del cuerpo-cubierta y que tiene el número de parte 7, en la carta de evaluación para desensamble de la bomba (ver figura 4.5).

Para desensamblar este componente es necesaria la actividad de Remover, Re. Entonces, lo primero es establecer la secuencia de sub-actividades propias para realizar la tarea de remover el arosello, la cual se presenta en la secuencia 3.1.

$$A_1 B_0 P_1 L_3 G_1 A_1 B_0 P_1 A_1 \quad (\text{Sec. 3.1})$$

Esta secuencia puede leerse de la siguiente forma:

$A_1$  = Mover las manos al componente.

$B_0$  = Ningún movimiento del cuerpo ocurre.

$P_1$  = Se colocan las manos en posición de extraer el arosello.

$L_3$  = Se introducen los dedos hasta tomar el arosello.

$G_1$  = Se tiene el control del arosello del cuerpo- cubierta.

$A_1$  = Se lleva el arosello hasta un contenedor temporal

$B_0$  = Ningún movimiento del cuerpo ocurre.

$P_1$  = Se coloca el arosello en el contenedor temporal.

$A_1$  = Regresan las manos al ensamble.

El siguiente paso es convertir esta secuencia de movimientos en tiempo real lo cual se hace sumando los subíndices de la secuencia y se multiplica el resultado por diez (Niebel 1999 y Salvendy 1995), entonces:

$$(1+0+1+3+1+1+0+1+1) * 10 = 90 \text{ TMU} \quad (\text{Eq. 3.2})$$

El resultado de esta operación esta en TMU's de sus siglas en inglés "Time Measurement Unit", de lo cual se sabe que:

$$1 \text{ TMU} = 0.036 \text{ segundos} \quad (\text{Eq 3.3})$$

Entonces de las ecuaciones 3.2 y 3.3 tenemos que para desensamblar el arosello del cuerpo- cubierta se requiere un tiempo real teórico de:

$$\frac{(0.036 \text{ seg.})(90 \text{ TMU})}{1 \text{ TMU}} = 3.24 \text{ seg.} \quad (\text{Eq 3.4})$$

El Grado de Dificultad (GD) se calcula con la siguiente fórmula (Kroll 1998):

$$GD = 1 + \frac{9 * (TMU's)}{260} \quad (\text{Eq 3.5})$$

El grado de dificultad para la *accesibilidad* del componente #7 se calcula, sumando las sub-actividades de la secuencia 3.1 relacionados con la aproximación de las manos (o de la herramienta para otros casos) al componente arosello, esto es, secuencia 3.2.

$$A_1 B_0 \quad (\text{Sec. 3.2})$$

Las sub-actividades  $A_1$  y  $B_0$  para este caso, pertenecen a la secuencia  $S_1$ , que se refiere a movimientos generales relacionados con la accesibilidad al componente.

Entonces la suma de los subíndices es:

$$(1+0) * 10 = 10 \text{ TMU} \quad (\text{Eq. 3.6})$$

Por lo tanto el GD para la **accesibilidad** del componente #7 es:

$$GD = 1 + \frac{9 * (10)}{260} \cong 1.34 \approx 1 \quad (\text{Eq. 3.7})$$

Los resultados en el GD se redondean al valor del entero más próximo, en este caso es de 1 (ver Carta de Evaluación en Desensamble para el componente #7 columna 7, figura 3.5).

Para el grado de dificultad en el *posicionamiento* para el componente #7, se tiene que las sub-actividades relacionadas con el posicionamiento de las manos en la secuencia 3.1 son:

$$P_1 G_1 \quad (\text{Sec. 3.3})$$

Las sub-actividades  $P_1$  y en este caso, pertenece a la secuencia  $S_2$ , que se refiere a movimientos controlados, y finalmente la sub-actividad  $G_1$  que pertenece a la secuencias  $S_3$  que se refiere al uso de las manos (o de la herramienta para otros casos).

Entonces sumando los subíndices de la secuencia Sec. 3.3 se tiene:

$$(1+1) * 10 = 20 \text{ TMU} \quad (\text{Eq. 3.8})$$

El GD para el **posicionamiento** del componente #7 es:

$$GD = 1 + \frac{9 * (20)}{260} \cong 1.69 \approx 2 \quad (\text{Eq. 3.7})$$

Por lo tanto en la Carta de Evaluación en Desensamble (figura 3.5) para el componente #7, columna 8, se tiene un valor de 2.

El grado de dificultad en el aspecto de la *fuerza* para el componente #7, se tiene que las sub-actividades relacionadas con la fuerza en las manos en la secuencia 3.1 es:

$$L_3 \quad (\text{Sec. 3.4})$$

Las sub-actividades  $L_3$  en este caso, pertenece a la secuencia  $S_3$ , que se refiere al uso de las manos (o de la herramienta para otros casos).

Entonces sumando los subíndices de la secuencia Sec. 3.4 se tiene:

$$(3) * 10 = 30 \text{ TMU} \quad (\text{Eq. 3.8})$$

El GD para el aspecto de la **fuerza** del componente #7 es:

$$GD = 1 + \frac{9 * (30)}{260} \cong 2.038 \approx 2 \quad (\text{Eq. 3.7})$$

Por lo tanto en la Carta de Evaluación en Desensamble para el componente #7, columna 9, se tiene un valor de 2.

El grado de dificultad en el aspecto del *Tiempo Base* para el componente #7, se tiene que las sub-actividades relacionadas con el tiempo base en la secuencia 3.1 son:

$$A_1 B_0 P_1 L_3 G_1 \quad (\text{Sec. 3.5})$$

Para este caso, son consideradas únicamente las sub-actividades relacionadas con la accesibilidad, posicionamiento y uso de las herramientas o de las manos, hasta lograr el desensamble, es decir, las sub-actividades  $A_1 B_0 P_1 A_1$  no son consideradas como parte del tiempo base para lograr el desensamble.

Entonces sumando los subíndices de la secuencia Sec. 3.5 se tiene:

$$(1+0+1+3+1) * 10 = 60 \text{ TMU} \quad (\text{Eq. 3.8})$$

El GD para el aspecto de la **tiempo base** del componente #7 es:

$$GD = 1 + \frac{9 * (60)}{260} \cong 3.0769 \approx 3 \quad (\text{Eq. 3.7})$$

Por lo tanto en la Carta de Evaluación en Desensamble (figura 3.5) para el componente #7, columna 10, se tiene un valor de 3.

La columna 11 se deja en blanco puesto que se aplica ninguna situación especial en el desensamble del arosello del cuerpo-cubierta.

La forma en que se completan las demás columnas para el componente con número de parte 7, es similar a la que se explicó en el ejemplo del número de parte 1, y que se generaliza en el apéndice C.

Planteado lo anterior y puesto que no se tenían tablas como la de la figura 3.4, es como se pueden obtener los resultados para los componentes restantes.

La carta de evaluación para desensamble de la bomba se presenta en la figura 3.5

CARTA DE EVALUACIÓN EN DESENSAMBLE													
Producto: BOMBA TIPO ESTRELLA												Fecha: Abril del 2000	
Preparado por: AFC												Hoja: 1 de 1	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Parte #	Cantidad	Mínimo # de Partes	Tipo de tarea	# de repeticiones en la tarea	Herramientas requeridas	Grado de dificultad 1 (Fácil) ... 10 (Difícil)					Subtotal	Total	Comentarios
						Accesibilidad	Posicionamiento	Fuerza	Tiempo base	Especial			
1	6	0	Un	6	FW	1	2	3	8		14	84	
2	1	1	We	1	FS	1	5	2	4		12	12	Es necesario utilizar las dos manos. por su peso
			Re	1		1	2	2	3		8	8	
3	1	1	Re	1		1	2	3	4		10	10	
4	1	0	Un	1	FW	1	2	3	8		14	14	
5	1	1	Un	1	ST	1	2	3	8		14	14	Es una llave que funciona como de extremo fijo
6	1	1	Re	1		1	2	2	4		9	9	
7	1	1	Re	1		1	2	2	3		8	8	
8	1	1	In	1		2	2	2	2		8	8	
			Hb	1	VS	4	3	3	4		14	14	
			Pu	3	ST	3	4	5	4		16	48	
9	1	1	Re	1		3	2	1	2		8	8	
10	2	1	Hb	1	We	1	3	2	3		9	9	
			Pu	2	ST	2	4	6	9		21	42	Se utiliza una prensa manual para efectuar la tarea
11	1	0	Re	1		1	2	1	1		5	5	
12	1	1	Re	1		3	2	4	5		14	14	
13	1	1	In	1		2	2	1	1		6	6	
			Hb	1	We	4	6	2	3		15	15	
			Pu	2	ST	6	7	8	7		28	56	Se utiliza una prensa manual para separar el balero
14	1	0	In	1		4	2	5	3		14	14	
			Hb	1	PL	5	8	4	3		20	20	
			Pu	1	FL	7	6	3	8		24	24	
<b>DESENSAMBLE DEL SUBENSAMBLE "8"</b>													
15	1	0	In	1		1	1	1	2		5	5	
			Hb	1	We	3	3	2	4		12	12	
			Pu	2	ST	1	4	7	7		19	38	Se utiliza una prensa manual para separar la flecha
16	1	0	Re	1		1	2	3	4		10	10	
17	6	0	In	1		2	1	1	3		7	7	
			Hb	6	We	2	3	1	4		10	60	
			Pu	2	ST	4	5	7	8		24	48	Se utiliza una prensa manual para separar los pernos

Figura 3.5 Carta de evaluación en desensamble para la bomba tipo estrella.

De la carta de evaluación (figura 3.5), se puede concluir que existen componentes que por su cantidad, ubicación o funcionalidad, pueden ser eliminados, modificados, o reubicados. Los componentes que encontramos en estas situaciones son los siguientes:

En la carta, el **número de parte 1** tiene un valor de 84 (el más alto) en la columna 13, debido al producto del subtotal (columna 12) y el número de repeticiones en la tarea (columna 5). Esto se debe, no al grado de dificultad (columnas 7 a 11), si no al gran número de repeticiones de la tarea (columna 5) que es seis. Es notorio, que el mínimo número de partes (columna 3) para esta parte 1, es cero, es decir, teóricamente esta parte no es necesaria.

Con respecto al subensamble con **número de parte 8** (número de partes 15 a 17) se observa que para desensamblarlo se requieren: para la parte 15 tres operaciones sumando una calificación de 55; para la parte 16 una sola operación con calificación de 10; y para la parte 17 tres operaciones sumando 115. En contraste, el mínimo número de parte (columna 3) para los elementos del subensamble 8 es cero. Esto sugiere que este subensamble debería ser una sola pieza.

En el caso de la **parte número 10** se realizan dos operaciones sumando 51 (columna 13), no es un valor muy alto, sin embargo, se sugiere un mínimo número de parte de uno en lugar de dos.

El **número de parte 14**, requiere de tres operaciones para su desensamble sumando una calificación de 58, valor un poco alto. Por otro lado, tiene un mínimo número de parte de cero.

En el **número de parte 4**, se tiene un valor total de 14, lo cual no es un valor alto, sin embargo destaca que en el aspecto de mínimo #de parte es cero, es decir, que teóricamente este elemento no debería existir.

Con base en los resultados y en las conclusiones antes mencionadas, en el siguiente capítulo se propone un rediseño.

## CAPÍTULO 4

# PROPUESTA DE REDISEÑO

### 4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentará, finalmente, la propuesta de rediseño de la bomba tipo estrella; esta propuesta se hace con base en el análisis y evaluación hecha en el diseño para desensamble, capítulo anterior.

La metodología de Kroll fue particularmente de gran ayuda porque con base en datos numéricos son señalados los puntos donde hay que poner particular atención en la propuesta de rediseño. De esa forma, la propuesta de rediseño toca los componentes siguientes: tornillos de cierre de la bomba, la contratuerca, perno de la estrella, el impulsor y los baleros del impulsor.

Es importante resaltar que la propuesta que se hace es únicamente desde el punto de vista de diseño para desensamble. Por lo que se entiende que este mismo camino de describir, analizar, evaluar y decidir (proponer); se debe hacer para cada técnica de diseño involucrada y que en conjunto conforman lo que aquí llamamos el diseño de ciclo de vida de la bomba.

### 4.2 REQUERIMIENTOS

En el aspecto de requerimientos de la propuesta de rediseño de la bomba se plantean los siguientes:

1. El rediseño de los componentes debe estar en conformidad con los principios del DS (ver sección 1.2).
2. Respetar el principio de funcionamiento de la bomba tipo estrella (ver sección 2.2.1).
3. Mejorar las propiedades de desensamble de la bomba; de tal forma que se facilite el mantenimiento y el reciclaje de materiales.

### 4.3 ESPECIFICACIONES

Las especificaciones para el rediseño de la bomba se presentan en la tabla 4.1.

**Tabla 4.1 especificaciones para el rediseño de la bomba**

<b><u>ESPECIFICACIONES PARA LA BOMBA TIPO ESTRELLA</u></b>	
Elaboro: AFC	Sep. 2000
REQUERIMIENTOS	RESPONSABLE
<b>1.- FUNCIONAMIENTO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Gasto 8.9 lpm.</li> <li>◦ 1750 rpm.</li> <li>◦ Presión diferencial 10kg/cm<sup>2</sup></li> <li>◦ Motor 0.5 hp. (elemento impulsor)</li> </ul>	La empresa / Cliente
<b>2.- AMBIENTE DE TRABAJO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Existe presencia de rebabas de aluminio y fierro.</li> <li>◦ Grasa.</li> <li>◦ Aceite.</li> <li>◦ Polvo.</li> </ul>	Cliente
<b>3.- CONDICIONES DE USO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Uso continuo (3turnos de 8horas cada uno)</li> <li>◦ Se bombea aceite SAE-150 a una temperatura de 100°C.</li> </ul>	Cliente

REQUERIMIENTOS	RESPONSABLE
<b>4.- MANTENIMIENTO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Por lo menos cada 10 años. Se cambian los baleros y el sello mecánico</li> </ul>	Cliente
<b>5.- MEDIDAS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las medidas externas principales no deben cambiar (ver Apéndice A para el modelo B 10.2).</li> <li>• Las medidas de las partes en contacto con el fluido ( la estrella, el cuerpo y el impulsor) no cambian (ver Apéndice A).</li> </ul>	La empresa
<b>6.- RECICLAJE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El material de los componentes de la bomba debe ser reciclable en un 100%.</li> </ul>	La empresa / cliente
<b>7.- VIDA ESTIMADA DE LA BOMBA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 30 años</li> </ul>	La empresa / cliente

#### 4.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN, SU EVALUACIÓN Y DISEÑO DE DETALLE

Con base en los resultados obtenidos en la evaluación que se hizo para calificar la desensambilidad de la bomba, se concluye que (ver sección 3.2.3), existen componentes que por su cantidad, ubicación o funcionalidad, pueden ser eliminados, modificados o reubicados. Los componentes que se rediseñan son los siguientes: *tornillos de cierre de la bomba, la contratuerca, el perno de la estrella, el impulsor y los baleros del impulsor.*

Las alternativas de solución y su evaluación para cada caso se presentan a continuación.

##### 4.4.1 TORNILLOS DE CIERRE DE LA BOMBA

Los tornillos (número de parte 1, figura 3.2) son *eliminados*. En realidad el rediseño en este componente, no está dirigido a los tornillos en sí, sino a la función que ellos realizan que es la de cierre (sellar) entre el cuerpo y la cubierta, por lo que es necesario realizar modificaciones en el cuerpo y la cubierta con el objetivo de disminuir el número de tornillos de cierre. El número mínimo

de partes (columna #3 de la carta) indica que debe ser de 1. Los componentes involucrados en el cierre de la bomba se muestran en la figura 4.1.

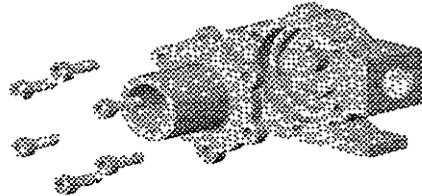


Figura 4.1 Componentes que se involucran en el cierre de la bomba

Algunas de las alternativas de solución exploradas se ilustran en la figura 4.2.

Solución Sub-función	1	2	3	4
Sellar	<p>Cuerda</p>	<p>Aletas tipo olla exprés</p>	<p>Tensor de columpio</p>	

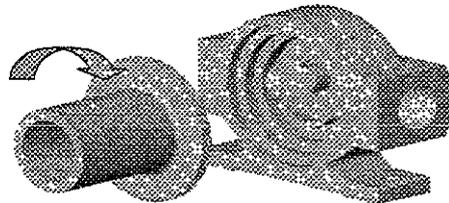
Figura 4.2 Carta morfológica para la cubierta

De las soluciones propuestas anteriormente, la alternativa *tres* es eliminada por que al menos se requieren tres tensores de columpio colocados uno a cada 120°.

Las alternativas *uno* y *dos* son más aceptadas dado que de entrada, en ambas, se eliminan los seis tornillos y no se hace necesario incorporar un elemento más. Sin embargo, se prefiere la alternativa uno ya que para su manufactura es posible lograr la totalidad de la pieza en el mismo torno y sin necesidad de desmontar la pieza para poder hacer la cuerda, el alojamiento del arosello, el refrentado, etc.

Los 6 tornillos de cierre en el cuerpo-cubierta (número de parte 1 en la figura 3.2) son eliminados. Esto hace que la bomba necesite de menor energía en su manufactura así como de menor material (ver restricción 1) dado que se eliminan 12 agujeros (6 en el cuerpo y 6 en la cubierta) y 6 cuerdas, además del material necesario para alojar a los tornillos.

El rediseño del cuerpo y la cubierta es tal que la cubierta hará la función de un tornillo que entrará en el cuerpo que tiene su contra parte de cuerda (ver figura 4.3). Esto además permite que el desensamble sea más rápido (ver restricción 3).



**Figura 4.3 Propuesta de rediseño para eliminar los tornillos de cierre de la bomba**

La cuerda de la cubierta (y su contra parte en el cuerpo) es derecha la cual tiene el mismo sentido de giro que la estrella, esto hace que la cubierta no tienda a aflojarse durante el trabajo de bombeo.

La restricción número 2 (ver sección 4,2) se respeta, dado que esta eliminación de los tornillos no afecta el principio de funcionamiento de la bomba.

Ahora bien, para definir a detalle la cuerda en la propuesta de rediseño que se ilustra en la figura 4.3 se puede decir que:

Se utilizará una rosca de la serie fina (designadas UNF), ya que este tipo de cuerdas se prefiere cuando se presenta vibración que tienda a aflojar los tornillos (Faires 1993), como en el caso de la bomba.

Es importante notar que los agujeros roscados de la serie 3B, se acoplan a menudo con tornillos de la clase 2A para lograr ajustes más estrechos (Grand 1966), especialmente para casos como es éste en que se trata de un material de hierro, fundición en arena.

Por lo tanto en la tabla 4.2 se exponen los datos de las cuerdas para la cubierta y el cuerpo de la bomba:

**Tabla 4.2 Datos para la rosca de la cubierta y la del cuerpo**

Rosca exterior, clase 2ª		Rosca interior, clase 2B	
Medida:	4"		
Hilos por pulgada:	48		
Juego en pulgadas:	0.0007		
<i>Diámetro mayor en pulgadas</i>		<i>Diámetro menor en pulgadas</i>	
Límites:		Límites:	
Máx:	0.1113	Mín:	0.0894
Mín:	0.1068	Máx:	0.0968
Tolerancias:	0.0045	Tolerancias:	0.0074
<i>Diámetro de flancos en pulgadas</i>		<i>Diámetro de flancos en pulgadas</i>	
Límites:		Límites:	
Máx:	0.0978	Mín:	0.0985
Mín:	0.0954	Máx:	0.1016
Tolerancia:	0.0024	Tolerancia:	0.0031
<i>Diámetro menor en pulgas</i>		<i>Diámetro mayor en pulgas</i>	
	0.0857		0.1120

También se especifican estas dimensiones en los dibujos de definición del cuerpo y la cubierta en el apéndice D.

Para apretar la cubierta en el cuerpo, se utilizara una llave llamada de nariz; lo cual hace necesario un barreno que especificado en el dibujo de definición de la cubierta en el apéndice D.

4.4.2 CONTRATUERCA

La contratuerca (número de parte 4, figura 3.2) es *eliminada*. El mínimo número de partes (columna tres de la carta, figura 3.5) indica que debe ser cero. El rediseño de este componente no está dirigido a la contratuerca, sino a modificaciones que se puedan hacer en su entorno para poder eliminarla y a la vez que se esté realizando la misma función. La función de la contratuerca es evitar que el tornillo de ajuste se mueva por la vibración generada durante el trabajo de bombeo. Los componentes involucrados en el rediseño en la realización de la subfunción de la contratuerca se muestran en la figura 4.4.

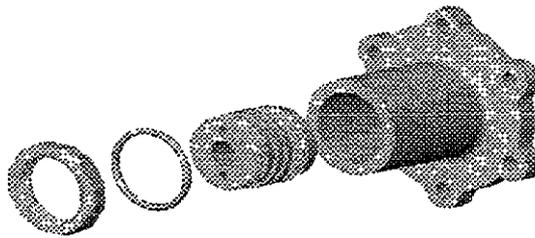


Figura 4.4 Componentes involucrados en la subfunción de la contratuerca para evitar que el tornillo de precarga se mueva

Algunas de las alternativas de solución exploradas se presentan en la figura 4.5

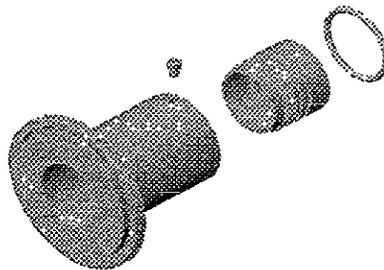
Solución	1	2	3	4
Sub-función	Pegamento	Cuña	Pnsionero	
Inmovilizar				

Figura 4.5 Carta morfológica para la subfunción de la contratuerca de inmovilizar.

Con la primera alternativa se observa que es posible eliminar la tuerca y no es necesario incluir un elemento más. No obstante esto, la opción es eliminada dado que un pegamento no garantiza su eficiencia por periodos de diez años (ver especificación #4, en la tabla 4.1), así mismo, el buen funcionamiento de la bomba queda condicionado a la existencia del pegamento para el día y el momento de dar el mantenimiento. Por otro lado, en caso de alguna falla inesperada en la bomba la ausencia del pegamento dificultaría la puesta en marcha nuevamente.

La opción número dos, es descartada dado que la necesidad de tener una cuña con características geométricas particulares hace necesario tener especial cuidado de no extraviar la cuña durante el mantenimiento o en una eventualidad.

Se prefiere la tercera opción ya que aún y cuando se está cambiando un elemento por otro, contratuerca por prisionero (ver figura 4.6), se prefiere al prisionero por ser éste un elemento comercial, fácil de encontrar o de reemplazar y de un menor costo que la contratuerca; además, de que se utiliza menos material para hacer la misma función (ver el requerimiento 1, en la sección 2.2).



**Figura 4.6 Propuesta de rediseño para eliminar la contratuerca**

Con relación al requerimiento número 2 (sección 2.2), este es respetado dado que estos cambios no afectan los principios de funcionamiento de la bomba. El requerimiento 3 (sección 2.2), se ve favorecido puesto que es más fácil manejar una herramienta de menor tamaño que la propia para la tuerca, además, de que el tiempo requerido para quitar el prisionero es menor que el de quitar la contratuerca.

Ahora bien, en la selección del prisionero, se tiene que el material del tornillo de precarga es un acero AISI 1045, lo que dificultaría la penetración de los tornillos prisioneros como los de extremo plano achaflanado, extremo redondeado, media espiga, de punta moleteada, etc., de ahí que se elige el de punta cónica, para forzar la penetración en el tornillo de precarga en un punto.

Las especificaciones del prisionero según la norma DIN, son las siguientes:

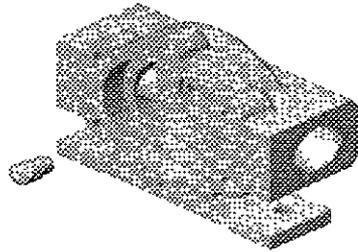
Un prisionero comercial con punta cónica (se entiende que los prisioneros ya tienen las puntas endurecidas), roscado con ranura con un diámetro M4 y una longitud de 8 mm.

#### 4.4.3 PERNO DE LA ESTRELLA

El perno de la estrella (número parte 14, en la figura 3.2) es *reubicado*. Su función es la de servir de apoyo al balero de la estrella ya que éste se empotra en el perno. En la carta de evaluación para desensamble, columna #4 (figura 3.5), para este componente, se puede observar que son necesarias tres diferentes tipos de tareas, las cuales, suman un valor de 58 (columna 13, figura 3.5), lo cual es medianamente alto con relación a las demás cifras, sin embargo, el hecho de requerir tres diferentes tareas para el desensamble sugiere que este componente puede ser rediseñado.

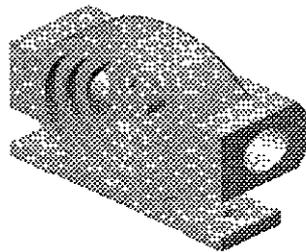
En realidad el rediseño que se está proponiendo es una reubicación del perno ya que buscar una modificación en su entorno y que se realice la misma función que hace el perno, significaría faltar al requerimiento #2 (ver figura 4.7), ya que en esta área se encuentran los componentes que conforman el principio de funcionamiento de la bomba, como lo son la estrella, los pernos y disco impulsor así como el cuerpo.

En el diseño original, el material del perno es de acero AISI 4140 T; el cual, se eligió así por que de esta forma las agujas del balero que va empotrado en él, no lo desgastará y así poder garantizar su buen funcionamiento por un periodo largo.



**Figura 4.7** Diseño original del perno que se empotra en el cuerpo

La reubicación sugerida es tal que la función es integrada al cuerpo de la bomba (ver figura 4.8)



**Figura 4.8** Propuesta de rediseño (reubicación) para el perno de la estrella.

Con esto se tendría al perno del mismo material que el del cuerpo, esto es, de hierro ASTM-488 (fundición en arena). Esto obliga a un cambio en las características del balero de agujas a otro con las mismas características geométricas y de carga, pero con una pista interior integrada al balero; así solamente se empotra el balero en el perno (recordar que originalmente, primero se empotra el perno al cuerpo de la bomba y luego el balero y la estrella al perno, ver figura 3.2)

El requerimiento 1 (sección 2.2), se ve favorecido ya que, si bien se incrementan los maquinados en el cuerpo hay un ensamble menos que requeriría de tres diferentes tareas para desensamblarlo y además no es necesaria la manufactura del perno de la estrella.

El requerimiento 2 (sección 2.2), se conserva ya que no se afecta de ninguna manera el principio de funcionamiento de la bomba.

El requerimiento 3 (sección 2.2), es favorecido dado que ahora ya no hay componentes que desensamblar.

El nuevo balero que se requiere para hacer la misma función es tal que: debe tener una geometría muy similar de tal forma, que provoque el menor cambio posible en su entorno, como lo es la estrella pero sí debe ser tal que al menos resista las mismas cargas que en el diseño original.

El balero original es un ZKL modelo HK2212 llamado “casquillo de agujas”, con las siguientes características:

Diámetro interior de	22 mm
Diámetro exterior de	28 mm
Ancho de pista de	12 mm
Capacidad de carga dinámica de	8800 N.

La propuesta del balero para el rediseño es un balero SKF, llamado de agujas con pestañas y con aro interior. Su número de designación es **NKI17/16**. Datos de mayor detalle de este balero se encuentra en el Apéndice E.

Diámetro interior de	15 mm
Diámetro exterior de	29 mm
Ancho de pista de	16 mm
Capacidad de carga dinámica de	13800N.

Como se observa, este cambio obliga a una disminución de a disminución de 1 mm en el diámetro de la estrella, donde empotra el balero, lo cual no es significativo porque si se piensa que al quedar unidos, la estrella y el balero, estos funcionan como un conjunto, y no se puede decir que se ha debilitado al conjunto (estrella balero). En cambio se tiene una mejora en la capacidad de carga con este nuevo balero.

#### 4.4.4 IMPULSOR

El impulsor, número de parte 8, es un subensamble formado por los componentes 15, 16 y 17 (verde figura 3.2); para este componente se pretende una *modificación*. La función del impulsor es la de transmitir el movimiento del motor a la estrella, dentro de la bomba. En la carta de evaluación para desensamble, columna #4 (figura 3.5), para este componente, se puede observar que son necesarias tres diferentes tipos de tareas, las cuales suman un valor de 70 (columna 13), lo cual es un valor alto; además de esto para lograr el desensamble del impulsor es necesario hacer una secuencia de desensamble independiente, es decir separar los componentes 15, 16 y 17 (ver figura 4.9).

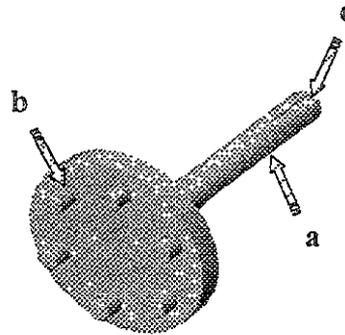


**Figura 4.9 Subensamble del impulsor, número de componente 8.**

La modificación que se propone para este componente, *no* está en su geometría es sí, ya que por el requerimiento 2 (sección 2.2), cualquier alteración en la forma del impulsor modificaría los principios de funcionamiento de la bomba. La modificación que se propone, está en la forma en que se manufactura, lo que se busca es que éste sea de una sola pieza, y así, evitar la secuencia independiente. Para lograr esto es necesario hacer, primeramente, algunos cálculos para determinar un material adecuado para la manufactura.

Entonces, en la figura 4.10 se señalan los puntos en donde se presentan las mayores concentraciones de esfuerzos que son a) la flecha, b) el perno del impulsor y c) el cuñero.

ESTE NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

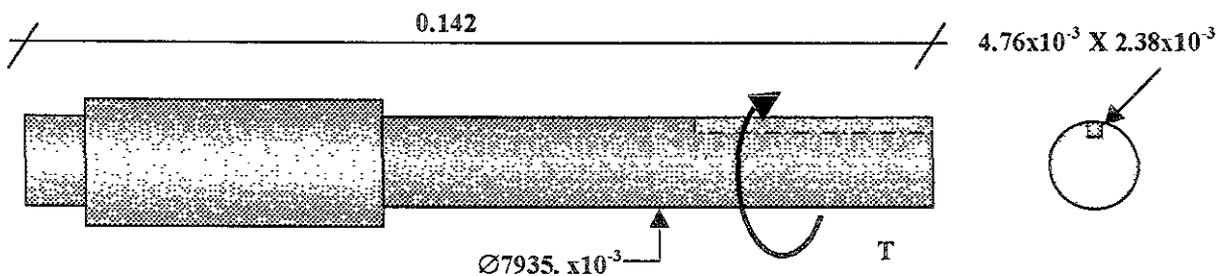


**Figura 4.10 Puntos donde se presentan las mayores concentraciones de esfuerzos en el impulsor**

Lo que se hará es determinar los esfuerzos cortantes en cada uno de los casos para determinar cual es el mayor y así seleccionar un material que responda satisfactoriamente al mayor de estos esfuerzos y así, garantizar el buen funcionamiento de todo el impulsor como una sola pieza.

**Caso a)**, el de la flecha, sus esfuerzos cortantes se deben al motor con el que va conectada para transmitir el torque.

Las características generales de la flecha (número de parte 15) se muestran en la figura 4.11.



**Figura 4.11 Dimensiones generales de la flecha [m].**

De los datos que se tienen en el “funcionamiento” (ver especificaciones sección 4.3) tenemos que: la velocidad de rotación es de 1750 rpm (lo que es igual a 183.3 rad/seg.) y la potencia del motor es de 0.5 hp (lo que es igual a 372.85 Nm/s).

Entonces, tenemos que la potencia asociada con la rotación de una flecha sometida a un torque es (Beer 1993):

$$P = T\omega \quad (\text{eq. 4.1})$$

Donde  $P$  es la potencia,  $T$  es el torque y  $\omega$  es la velocidad angular. Resolviendo para  $T$  de la ecuación 4.1, tenemos que.

$$T = \frac{372.85 \text{ Nm/s}}{183.3 \text{ rad/s}} = 2.034 \text{ Nm}$$

Este es el torque que transmite la flecha a causa del motor de 1/2 caballo. Así mismo se tiene que el esfuerzo cortante provocado por el torque es el siguiente (Beer 1993):

$$\tau = \frac{Tc}{J} \quad (\text{eq. 4.2})$$

Donde “ $c$ ” es el radio de la flecha (por el requerimiento 2 se conserva la geometría de la flecha) y  $J$  es el momento polar de inercia. Entonces, resolviendo la ecuación 4.2 se tiene que:

$$\tau = \frac{(2.034 \text{ Nm})(7.935 * 10^{-3} \text{ m})}{\pi 0.5(7.935 * 10^{-3} \text{ m})^4} = 2.59173 \text{ Mpa} \quad (\text{eq. 4.3})$$

Este es el **esfuerzo cortante en la flecha.**

**Caso b)**, el perno impulsor, tenemos que el caso más crítico se presenta en el perno es que en un instante dado se encuentra en el pasaje de bombeo como se ilustra en la figura 4.12 (ver también figura 2.2). La presión que siente ese perno es la presión diferencial (Chicurel 1982) que para este caso es de 10 Kg/cm<sup>2</sup> (lo que es igual a 981000 N/m<sup>2</sup>) ver “funcionamiento” en las especificaciones de la sección 4.3.

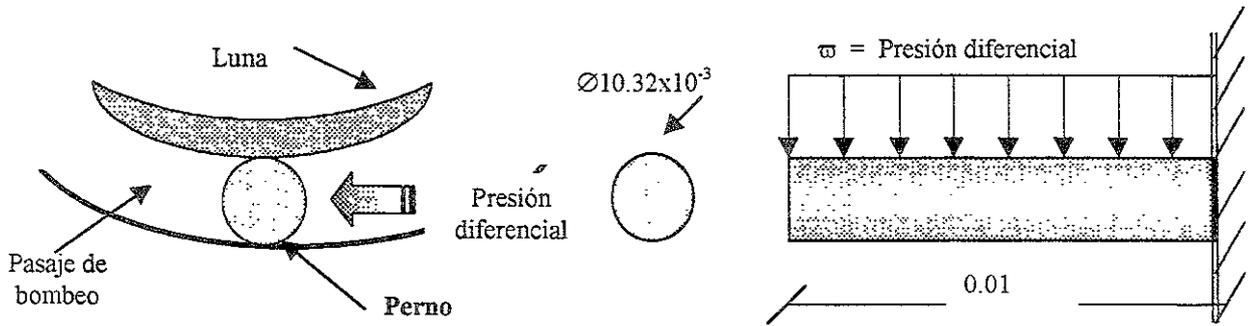


Figura 4.12 Perno impulsor que está soportando la presión diferencial, [m]

Los diagramas de fuerza cortante y de momento flector para esta distribución de carga se muestran en la figura 4.13.

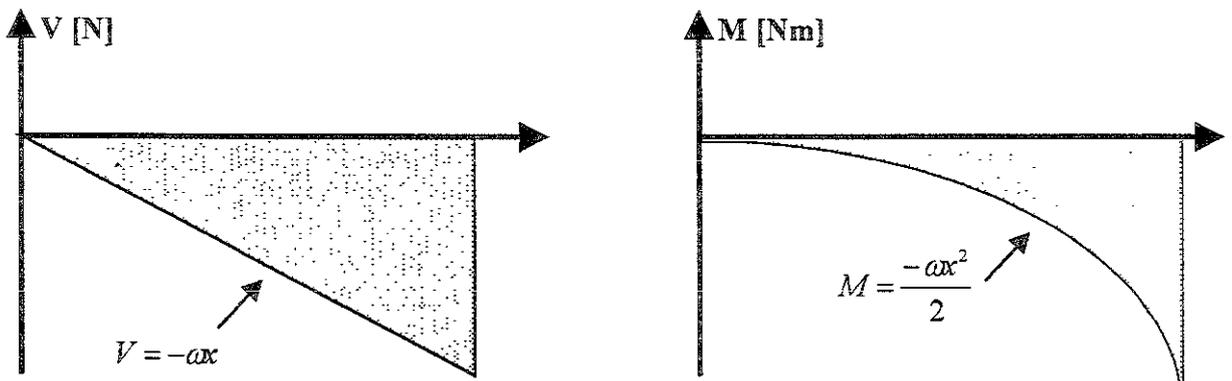


Figura 4.13 Diagrama de fuerza cortante (V) y diagrama de momento flector (M)

De aquí se encuentra que el cortante máximo es:

$$V = -(981000)(0.01) = -9810N \tag{eq. 4.4}$$

Este cortante al que está sometido el perno ocurre en el punto donde éste se empotra al disco impulsor.

El momento flector también ocurre en el área de empotramiento y tiene el siguiente valor.

$$M = \frac{-(981000)(0.01)^2}{2} = 49.05 Nm$$

Ahora bien, el esfuerzo cortante en el punto de empotramiento se puede calcular con la ecuación 4.5 (Beer 1993):

$$\tau = \frac{V}{A_{paralela}} \quad (\text{eq. 4.5})$$

Donde  $A_{paralela}$  es el área de la sección transversal del perno y  $V$  es el cortante máximo (eq. 4.4). Entonces, resolviendo tenemos:

$$\tau = \frac{9810N}{8.3647 * 10^{-5} m^2} = 117.2789 Mpa \quad (\text{eq. 4.6})$$

Este es el **esfuerzo cortante máximo en el perno.**

**Caso c)**, el del cuñero (ver figura 4. 11), se encuentra que el esfuerzo cortante es un factor  $K_t$ , (llamado factor de concentración de esfuerzos) del cortante en la flecha que se encuentra por la ecuación 4.2; esto es (Orthwein 1996):

$$\tau = K_t \frac{Tc}{J} \quad (\text{eq. 4.7})$$

El valor de  $K_t$  es de 5.83 para cuñeros con un perfil cuadrado (Orthwein 1996). Entonces, resolviendo la ecuación 4.6 tenemos que:

$$\tau = 5.83(2.59173 * 10^6 Mpa) = 15.1098 MPa \quad (\text{eq 4.8})$$

Lo cual es el valor del **esfuerzo cortante para el cuñero.**

Entonces, se encuentra que de los tres esfuerzos cortantes (ecuaciones 4.3, 4.6 y 4.8) que ocurren en el impulsor, el mayor se encuentra en el perno del impulsor con una magnitud de  $\tau = 117.2789$  MPa. Entonces se selecciona un material que resista este cortante.

Por lo tanto el material que se propone es un ACERO PARA FUNDICIÓN RECOCIDO CON 0.25% DE CARBONO; el cual tiene una carga última a cortante de 429 MPa.

Se tiene que el Factor de Seguridad (FS) se define de la siguiente forma (Beer 1996):

$$FS = \frac{\text{carga última}}{\text{carga admisible}} \quad (\text{eq 4.9})$$

Entonces, resolviendo la ecuación 4.9 se tiene lo siguiente:

$$FS = \frac{429 \text{ MPa}}{117.2789 \text{ MPa}} = 3.66$$

Es decir que con este tipo de acero se tendría un material con un factor de seguridad de 3.66.

Sin embargo un aspecto importante a considerar en la justificación de este material esta el de evaluarlo considerando su resistencia a la fatiga, particularmente en el perno del impulsor que es donde se concentra el mayor esfuerzo.

Entonces en el acero para fundición con 0.25% de C, recocido, se tiene que el límite de resistencia a la fatiga esta relacionado con la resistencia ultima a la tensión de la siguiente forma (Shigley 1990):

$$S_e' = (0.504)S_{ut}, \quad \text{Si } S_{ut} < 1400 \text{ MPa} \quad (\text{eq. 4.10})$$

Donde  $S_e'$ , es el límite de fatiga para una probeta de viga rotatoria.  $S_{ut}$  es la carga a la que esta sometido un elemento.

Resolviendo la ecuación 4.10 para el perno del impulsor se tiene lo siguiente:

$$S_e' = (0.504)(117.2789 \text{ MPa}) = 59.1086 \text{ MPa} \quad (\text{eq. 4.11})$$

Sin embargo la ecuación 4.10, como se indico, es para probetas de viga rotatoria y el caso de estudio se refiere al de esfuerzo cortante, por lo que la ecuación 4.11 se tiene que ajustar al caso de estudio como se muestra en la ecuación 4.12 (Aguirre 1990).

$$S_{se} = 0.8 S_e' \quad (\text{eq. 4.12})$$

Sustituyendo el resultado de la ecuación 4.11 en la ecuación 4.12 se tiene que la resistencia a la fatiga en el perno es de:

$$S_{se} = 0.8 (59.1086 \text{ Mpa}) = 47.29 \text{ Mpa.} \quad (\text{eq. 4.13})$$

Por otro lado, también se presentan los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga (Shigley 1990), estos factores afectan el valor de resistencia a la fatiga como se muestra en la ecuación 4.14.

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e S_{se} \quad (\text{eq. 4.14})$$

Donde:

$K_a$  = Factor de superficie.

$K_b$  = Factor de tamaño.

$K_c$  = Factor de carga.

$K_d$  = Factor de temperatura.

$K_e$  = Factor de efectos varios.

El factor  $K_a$  se obtiene de la ecuación 4.15, esto es:

$$K_a = a S_{ur}^b \quad (\text{eq. 4.15})$$

Donde  $a = 1.58$  y  $b = -0.085$ . Cuyos valores corresponden a un acabado superficial equivalente a esmerilado o rectificado (Shigley 1990). Entonces resolviendo la ecuación 4.15 se tiene lo siguiente:

$$K_a = (1.58) (117.2789)^{-0.085} = 1.054 \quad (\text{eq. 4.16})$$

El factor  $K_b$  se obtiene de la ecuación siguiente (Shigley 1990).

$$K_b = \left( \frac{d}{7.62} \right)^{-0.1133} \quad \text{Si } 2.79 < d < 51 \text{ mm.} \quad (\text{eq. 4.17})$$

Donde  $d$  es el diámetro del perno que es de 10.32 mm. Entonces resolviendo la ecuación 4.17 se tiene lo siguiente:

$$K_b = \left( \frac{10.32}{7.62} \right)^{-0.1133} = 0.966 \quad (\text{eq. 4.18})$$

El factor  $K_c$  se obtiene de la ecuación 4.19, el cual tiene un valor, para el caso de cortante, de (Shigley 1990):

$$K_c = 0.577 \quad (\text{eq. 4.19})$$

El factor  $K_d$  se toma como igual a 1 ya que no se conoce el límite de resistencia a la fatiga a la temperatura de trabajo es decir (Shigley 1990):

$$K_d = 1 \quad (\text{eq. 4.20})$$

El factor  $K_e$  se le asigna el valor de uno ya que este factor se introduce solamente mente como recordatorio de que deben tomarse en cuenta otros aspectos que pueden afectar la resistencia a la fatiga como lo son por ejemplo la corrosión, recubrimientos, esfuerzos concentrados, etc. (Shigley 1990) por lo tanto considerando que estos factores son tomados en cuenta se tiene que:

$$K_e = 1 \quad (\text{eq. 4.21})$$

Por lo tanto, resolviendo la ecuación 4.14 con los valores de cada uno de los factores que modifican la resistencia a la fatiga del perno, se tiene lo siguiente:

$$S_e = (1.054) (0.966) (0.577) (1) (1) (47.29 \text{ Mpa}) = 27.8 \text{ Mpa} \quad (\text{eq. 4.22})$$

Ahora bien, se tiene que la resistencia a la fatiga de duración finita (hasta aproximadamente  $10^7$  ciclos son validas estas ecuaciones) se define de la siguiente forma<sup>1</sup> (Shigley 1990):

$$S_f = aN^b \quad (\text{eq. 4.23})$$

Donde  $S_f$  es la resistencia a la fatiga de un elemento cualquiera y:

$$a = \frac{(0.9S_{ut})^2}{S_e} \quad (\text{eq. 4.24})$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \frac{0.9S_{ut}}{S_e} \quad (\text{eq. 4.25})$$

Entonces resolviendo las ecuaciones 4.24 y 4.25, se tiene lo siguiente:

$$a = \frac{(0.9(117.2789 \text{ MPa}))^2}{27.8 \text{ MPa}} = 400.76 \text{ MPa} \quad \text{y}$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \frac{0.9(117.2789 \text{ MPa})}{27.8 \text{ MPa}} = -0.193$$

Por lo tanto, la resistencia a la fatiga (ecuación 4.23) en el perno del impulsor para  $10^7$  ciclos es el siguiente.

$$S_f = 400.76 \text{ MPa} (10^7)^{-0.193} = 17.86 \text{ MPa}$$

---

<sup>1</sup> Se entiende que el número de ciclos que se le esta solicitando al perno es mucho mayor que  $10^7$  ciclos, límite máximo en el cual se puede utilizar las ecuaciones de cálculo de fatiga de duración finita. A partir de este límite se estará en el rango de vida infinita (diagrama S-N Shigley 1990). La

Por lo tanto, el acero para fundición con 0.25% de C (recocido) es, también, adecuado para satisfacer las condiciones de fatiga, ya que éste es mucho menor que resistencia última del acero propuesto, esto es:

$$17.86\text{MPa} \ll 429\text{MPa}$$

Esta desigualdad también indica que las cargas a las que está sometido el perno del impulsor están por debajo de la capacidad máxima del acero propuesto, es decir que por esta situación se tendrá una vida indefinida (infinita) del impulsor (Shigley 1990, Faires 1993). Por lo tanto, se puede decir que la vida estimada del impulsor si satisface la especificación de vida esperada de la bomba de 30 años (sección 4.3).

Otras consideraciones que se hacen en la elección de este tipo de acero es que en las “condiciones de uso” (ver especificaciones sección 4.3) se dice que el fluido que se está bombeando es aceite de grado SAE-150 a una temperatura de 100°C. El acero al carbón (0.25% C) es adecuado para estas condiciones, es decir, el aceite no reacciona químicamente en deterioro de acero y la temperatura no representa un factor significativo para el acero ya que éste empieza a presentar deformaciones a temperaturas superiores a los 800°C.

Por lo tanto, y con respecto a la modificación del impulsor para poder fabricarlo de una sola pieza, se tiene lo siguiente<sup>2</sup>.

Este podría hacerse de fundición en arena considerando un 15% más en la geometría general del impulsor para que después y tras los maquinados apropiados en toda la pieza poder eliminar la porosidad que haya dejado la arena en la pieza.

Esto también favorece la resistencia a la fatiga ya que el mecanizado sobre el impulsor incrementa la resistencia por fatiga ya elimina grietas en la superficie, las cuales son iniciadoras de fractura (Shigley 1990, Faires 1993).

---

conclusión que se hace del gráfico es que si el calculo de la resistencia a fatiga del elemento con el material propuesto esta por debajo del gráfico, entonces el material es adecuado para tales condiciones.

<sup>2</sup> El hacer una propuesta formal sobre cómo podría ser la manufactura del impulsor para que sea de una sola pieza escapa de los objetivos planteados originalmente, y de hecho es necesario considerar más información con la que no se cuenta como lo es el volumen de producción, costos reales de maquinados, otros tipos de materiales que se emplean para otros impulsores, etc.

Se nota que es necesario diseñar una herramienta para poder dar los acabados en lo que serían los pernos del impulsor.

También se podría pensar que el material del impulsor fuera de algún polímero o resina. En este sentido, se podría considerar a la resina NORYL, de la cual, se puede obtener el impulsor completo por inyección en un molde. En específico, se propone a la resina NORYL/SE1GFN3, la cual tiene una resistencia mecánica de 125 MPa. lo que satisface el requerimiento de 117.2789 MPa.; esta propiedad mecánica se garantiza hasta temperaturas de los 120 °C, lo cual está por arriba de la temperatura del aceite que es de 100 °C. Para mayor detalle de este material ver al Apéndice F.

Con respecto a los requerimientos se tiene que: el requerimiento 1 (sección 2.2), a primera vista éste no se satisfaría sobre todo pensando en el aspecto de la fundición por lo que se requiere e mayor información para poder hacer un juicio definitivo (se supondrá que este requerimiento sí se satisface). El requerimiento 2 (sección 2.2), si se satisface ya que las dimensiones y por ende la geometría del impulsor se siguen conservando y el principio de funcionamiento es el mismo. El requerimiento 3 (sección 2.2), se satisface ya que las propiedades de desensamble se mejoran puesto ya no será necesario hacer la secuencia independiente para desensamblar el impulsor.

#### 4.4.5 BALEROS DEL IMPULSOR

Uno de los baleros, número de parte 10 figura 3.3, es **eliminado**. Su subfunción es la de dar estabilidad al impulsor. En la carta de evaluación para desensamble se puede observar que para desensamblar uno de los baleros es necesario realizar dos tareas diferentes (columna #4, figura 3.5), que suman un valor de 51, lo cual es un valor medianamente alto. Además de esta situación, se observa que el mínimo número de partes (columna #3, figura 3.5) que se requiere, teóricamente, es de un solo balero. Los componentes involucrados en la subfunción se muestran en la figura 4.13.

Para establecer la propuesta de rediseño será necesario realizar unos cálculos previos para la selección de un balero que realice la subfunción de forma adecuada.

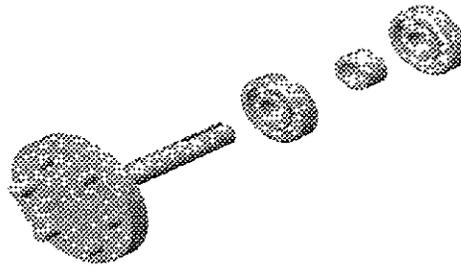


Figura 4.13 Componentes involucrados en la subfunción de dar estabilidad al impulsor.

Primeramente, en el pasaje de bombeo es donde se tienen las mayores cargas sobre el impulsor ya que en éste se tiene la presión diferencial (Chicurel 1982) que es de 10 Kg/cm<sup>2</sup> (981000 N/m<sup>2</sup>). Ver figura 4.14

Ahora bien, si  $P = F/A$  (Beer 1990), donde P es la presión en el pasaje de bombeo, F es la fuerza sobre el perno y A es el área de la superficie del perno que esta en contacto con el aceite; entonces:

$$P = \frac{F}{A} = 981000 \text{ N/m}^2 \tag{eq. 4.26}$$

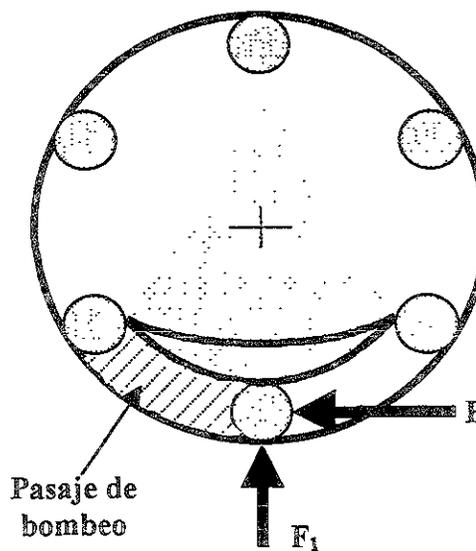


Figura 4.14 Área del impulsor (la ashurada) donde tiene el aceite la máxima presión

El área en contacto con el aceite (ver figura 4.15) se calcula de la siguiente forma:

$$P_{\text{permetro}} = 2\pi \left( \frac{0.01032}{2} \right) = 0.03242m$$

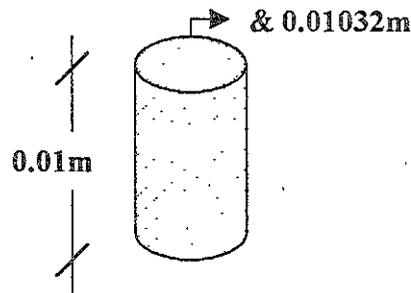


Figura 4.15 Área del perno en contacto con el aceite

Entonces el área del perno en contacto con el aceite es:

$$A = \frac{(0.03242m)(0.01m)}{2} = 1.6211 \times 10^{-4} m^2 \quad (\text{eq. 4.27})$$

Por lo tanto resolviendo la ecuación 4.26, para  $F$ , se tiene lo siguiente:

$$F = (981000N/m^2)(1.6211 \times 10^{-4} m^2) = 159.025N \quad (\text{eq. 4.28})$$

Para hacer la selección del balero se hará la suposición del caso más crítico que sería suponer que esta fuerza  $F$  no es tangente al disco impulsor, sino que es, perpendicular al eje axial de la flecha y que ésta es dirigida hacia el centro del disco impulsor. Esta fuerza ha sido denotada como  $F_1$ . Ver figuras 4.14 y 4.16.

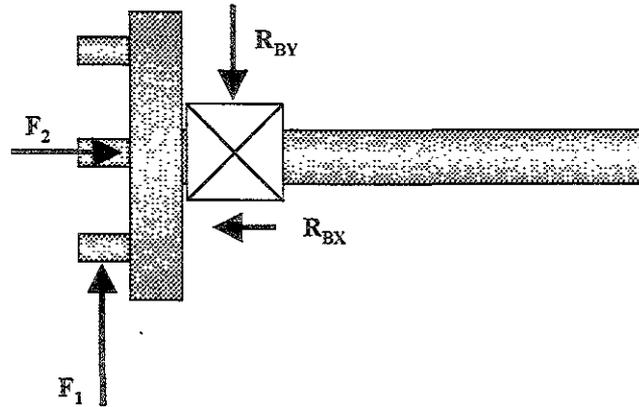


Figura 4.16 Reacciones sobre el balero dada la presión en el pasaje de bombeo.

Además de la fuerza  $F_1$  se tiene la fuerza  $F_2$ , también en el pasaje de bombeo, cuya dirección es paralela al eje de la flecha y hacia el cuñero.

Nuevamente la presión que siente el disco impulsor es en el pasaje de bombeo pero sobre el disco impulsor, el área ashurada que se muestra en la figura 4.14.

Entonces, de la ecuación 4.26 se tiene:

$$F_2 = PA \quad (\text{eq. 4.29})$$

Donde  $P = 981000 \text{ N/m}^2$  y  $A = 2.5094 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Entonces resolviendo la ecuación 4.29, se tiene que:

$$F_2 = (981000 \text{ N/m}^2)(2.5094 \times 10^{-4} \text{ m}^2) = 246.173 \text{ N} \quad (\text{eq. 4.30})$$

Haciendo la selección del balero de acuerdo al procedimiento propuesto por Faires (Faires 1993) se tiene que  $F_{\text{axial}} = F_z = 246.173 \text{ N} = 25.1 \text{ Kg}$ , y  $F_{\text{radial}} = F_x = 159.026 \text{ N} = 16.21 \text{ Kg}$ , para 1750 rpm (ver funcionamiento en las especificaciones 4.3) entonces:

Las horas vida al 90% para una bomba es de 100000 hrs. Entonces:

$$B_{10} = (100000)(60)(1750 \times 10^{-6}) = 10500 Mr \quad (\text{eq. 4.31})$$

Donde  $B_{10}$  son las revoluciones o tiempo con 10% de probabilidad de fallo.

Suponiendo un factor de empuje de  $C_t = 1.8$  y un factor de rotación  $C_r = 1$  para aro interior gratorio.

La carga equivalente se calcula como:

$$F_e = 0.56 C_r F_x + C_t F_z \quad (\text{eq. 4.32})$$

Resolviendo la ecuación 4.32 se obtiene lo siguiente:

$$F_e = 0.56(1)(16.21) + 1.8(25.1) = 54.26 Kg \quad (\text{eq. 4.33})$$

La formula de la vida para rodamientos es :

$$F_r = \left( \frac{B_{10}}{B_r} \right)^{1/K} F_e \quad (\text{eq. 4.34})$$

Donde  $K = 3$  para rodamientos de bolas y  $F_r$  es la carga específica nominal. Entonces, resolviendo la ecuación 4.34 con el resultado de 4.33 se obtiene:

$$F_r = \left( \frac{10500}{1} \right)^{1/3} 54.26 = 1188.16 Kg \quad (\text{eq. 4.35})$$

Esta carga específica nominal o capacidad básica, indica que los baleros 206 y 207 pueden ser alternativas de solución.

Suponiendo que el rodamiento 206 es una solución correcta, se tiene que este tiene una capacidad básica  $F_r = 1524 \text{ Kg}$ . y una capacidad estática de  $F_s = 1020 \text{ Kg}$ . Se tiene que la relación:

$$\frac{F_z}{F_s} = \frac{25.1 \text{ Kg}}{1020 \text{ Kg}} = 0.025$$

El factor axial se presenta en la tabla 4.2

**Tabla 4.2 Interpolación para determinar el factor axial**

$F_r / F_s$	0.014	<u>0.025</u>	0.028	...
$C_t$	2.3	<u>1.78</u>	1.99	...
Q	0.19	<u>0.196</u>	0.22	...

Ahora calculando la capacidad de carga, (ecuación 4. 32) para  $C_t = 1.78$ , se tiene lo siguiente:

$$F_e = 0.56(1)(16.21) + 1.78(25.1) = 53.76 \text{ Kg} \quad (\text{eq 4.36})$$

Y la capacidad básica , ecuación 4.33, se obtiene:

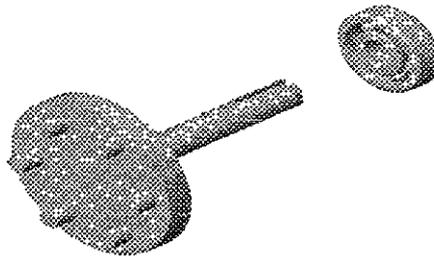
$$F_r = \left( \frac{10500}{1} \right)^{1/3} 53.76 = 1177.21 \text{ Kg}$$

Lo cual nos confirma que el balero 206 es adecuado ya que sigue siendo superior su capacidad básica (en tablas) de  $F_r = 1524 \text{ Kg}$  al calculado de  $F_r = 1177.21 \text{ Kg}$ .

Existe otro aspecto que favorece la posibilidad de sustituir dos baleros por uno; y está en el hecho de que si se observa el diseño actual de la bomba (ver los dibujos de definición, apéndice B) se puede encontrar que existe una diferencia de 5 mm entre el diámetro del disco impulsor y la pared del cuerpo de la bomba. Este espacio fue pensado así para evitar fricción entre las superficies

sellantes y para evitar vibración en la bomba<sup>3</sup>. Lo que en realidad sucede es que en este espacio (entre la diferencia de diámetros) se forma una película de aceite que está a la misma presión que el aceite que se está bombeando, esto, en principio, está haciendo la misma función que la de un balero, es decir, el aceite permite que el disco impulsor gire con una fuerza distribuida en toda su periferia dando estabilidad al disco impulsor ofreciendo una resistencia a que éste cabese por las fuerzas generadas en el pasaje de bombeo.

Esta eliminación de un balero también permite eliminar el espaciador, número de parte 11, cuya función es la de dar un espacio de un balero a otro y dar la distancia con relación a los demás componentes que se ubican en la flecha, como el sello mecánico, y el tornillo de precarga, ver figura 3.2. Finalmente la propuesta que se ha en la eliminación de un balero es la que se ilustra en la figura 4.17.



**Figura 4.17 Propuesta de rediseño en la eliminación de un balero.**

Con relación a los requerimientos, se puede observar que, el requerimiento 1 (sección 4.2) se conserva, ya que son necesarios dos componentes menos (el balero y el separador), es decir menos materia, menos energía para la misma función etc. El requerimiento 2 se conserva, ya que los principios de funcionamiento no son afectados con la eliminación del balero. El requerimiento 3 se ve favorecido ya que se tienen dos elementos menos por desensamblar.

<sup>3</sup> Éste es uno de los comentarios realizados por el Dr. Ricardo Chicurel en una entrevista.

Ahora bien, consultando un manual de SKF (catalogo general) se puede hacer la siguiente selección:

Para un balero con una carga en capacidad básica de  $F_r = 1177.21 \text{ Kg.} = 11548.43 \text{ N}$  se tiene que el balero de SKF con una designación de 6303 tiene una capacidad de carga dinámica de  $C = 13500$  superior a la que se solicita como capacidad básica<sup>4</sup>. Ver la definición completa de rodamiento en el apéndice E.

Otros aspectos que influyeron en la selección de este balero son, por ejemplo, que se buscaba conservar en lo posible las mismas dimensiones de los componentes relacionados con el balero, como lo son, el diámetro de la flecha, el diámetro del tornillo de precarga (ya que en este recarga el balero), etc.

#### **4.5 BOMBA TIPO ESTRELLA REDISEÑADA PARA DESENSAMBLE**

En suma, los cambios que se proponen desde el punto de vista del diseño para desensamblable, se muestran en la figura 4.18 y su lista de partes se muestra en la tabla 4.3.

Los cambios que se proponen no afectan los principios del diseño original, es decir, la bomba sigue siendo de tipo estrella con un impulsor de pernos, etc. Los cambios son en los componentes que rodean al funcionamiento principal de la bomba.

---

<sup>4</sup> El concepto de capacidad básica es manejado por Fares y el concepto de capacidad de carga dinámica se maneja en el manual de SKF; pero en realidad se refieren a lo mismo.

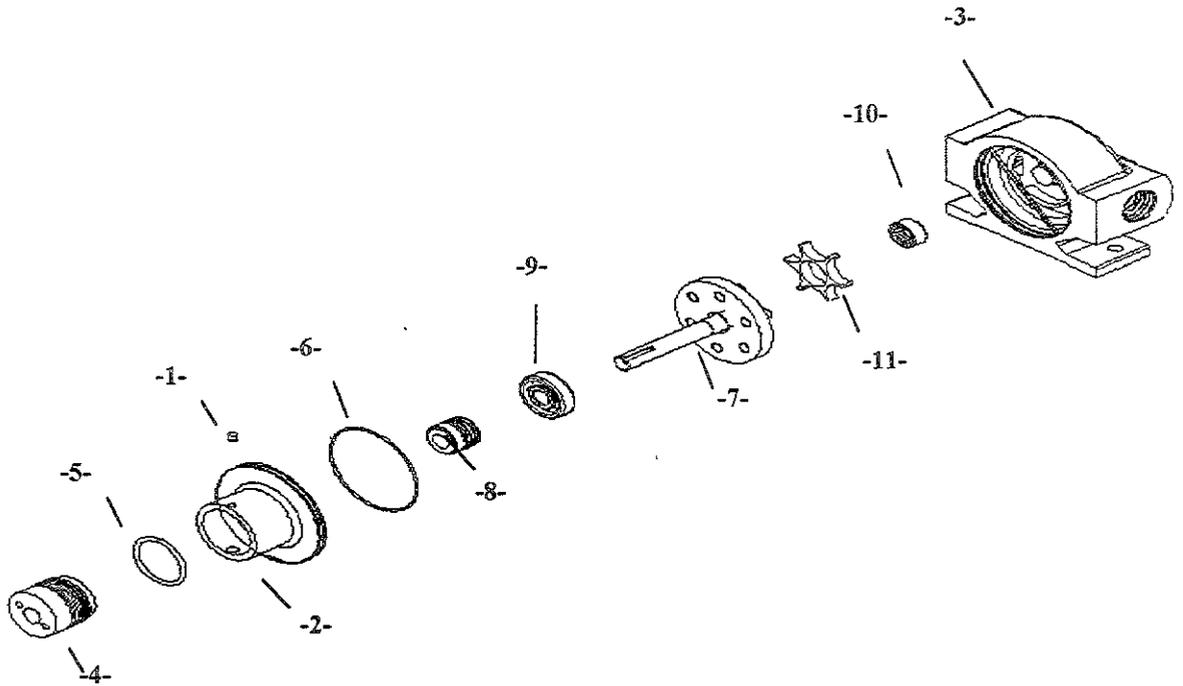


Figura 4.18 Propuesta de rediseño para desensamble de una bomba tipo estrella

Tabla 4.3 Partes de la Bomba (rediseño)

# de parte	Nombre	Cantidad	Material
1	Prisionero	1	Acero
2	Cubierta	1	Hierro
3	Cuerpo	1	Hierro
4	Tornillo de ajuste	1	Acero
5	Arosello tornillo de ajuste	1	Plástico
6	Arosello Cuerpo-cubierta	1	Plástico
7	Impulsor	1	Polímero
8	Sello mecánico	1	Mixto
9	Balero de impulsor	1	Acero
10	Balero de la estrella	1	Acero
11	Estrella	1	Hierro

Aplicando los métodos de análisis de espina de pescado para ensamble y espina de pescado en sentido inverso para el desensamble, tenemos lo siguiente:

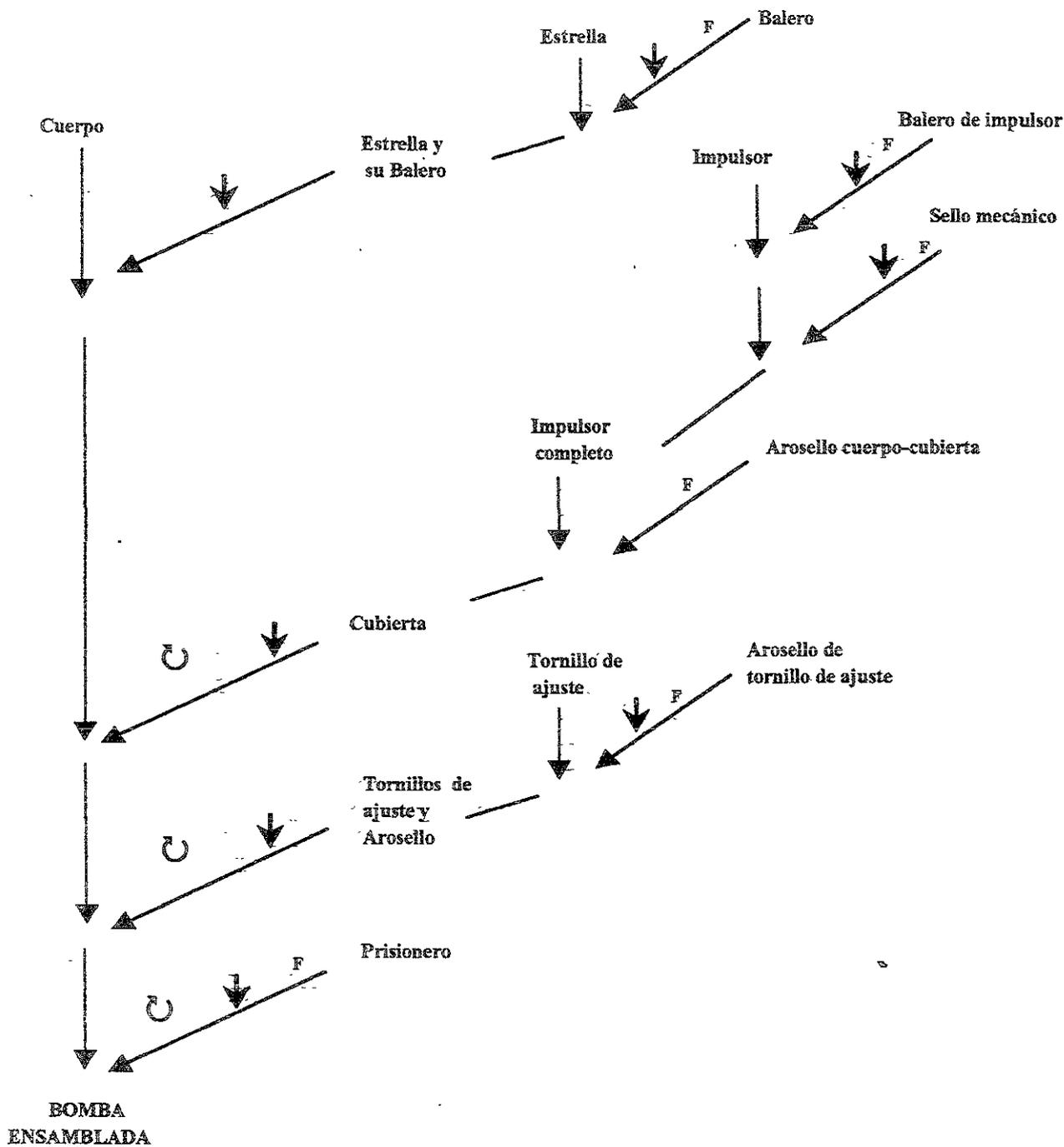


Figura 4.19 Espina de pescado para ensamble del rediseño de la bomba.

Si se compara la figura 4.19 del ensamble en el rediseño con su respectiva del diseño original (figura 3.2), es notorio que en el rediseño la figura es más sencilla, tiene menos ramificaciones, los componentes están más cerca de la línea principal del ensamble, y es más corta. Esto permite decir que la propuesta de rediseño, en principio, tiene mejoras que el diseño original en el aspecto de ensamble.

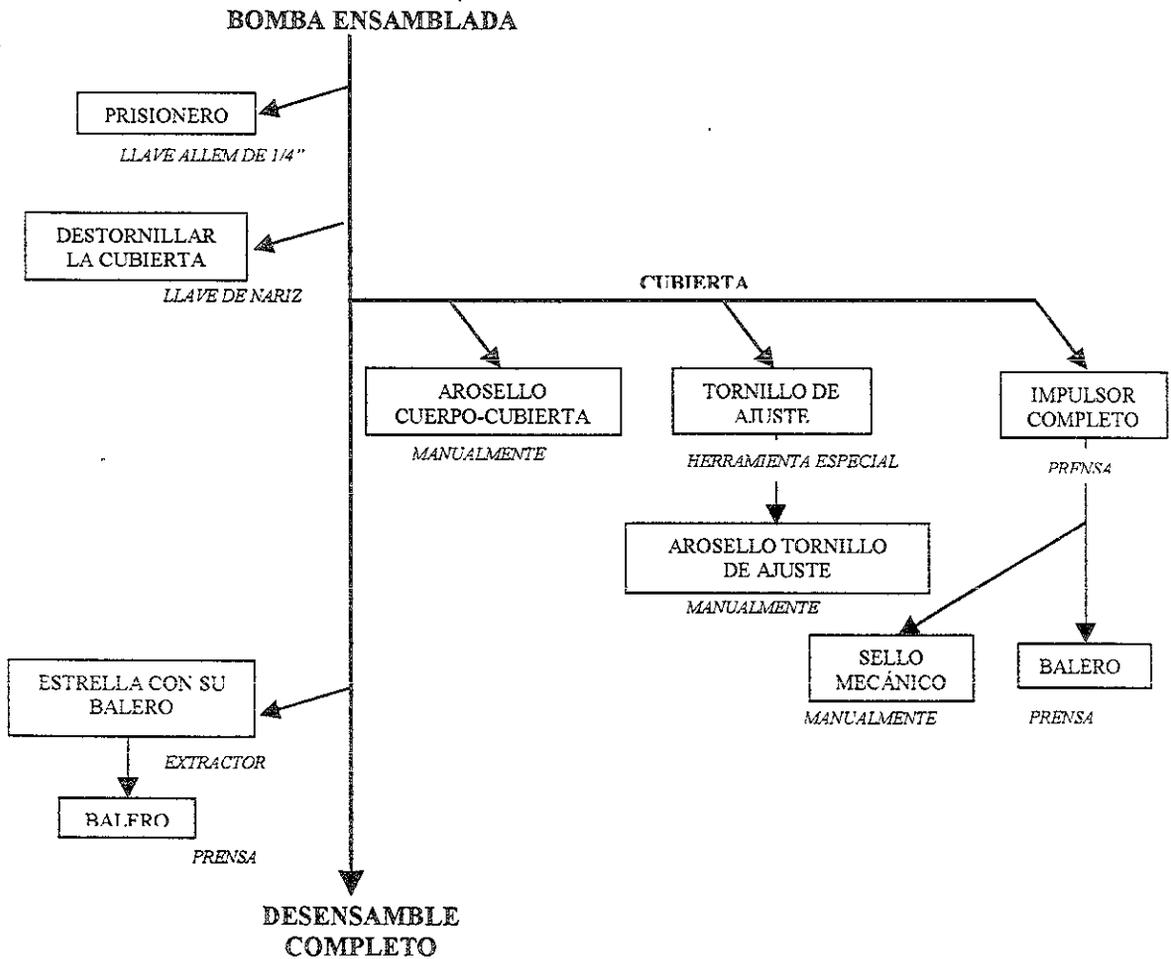


Figura 4.20 Diagrama de espina de pescado en sentido inverso para el rediseño

En lo que respecta a la espina de pescado en sentido inverso en el rediseño (figura 4.20) y se compara con su respectivo (figura 3.3), se tiene que, la figura del rediseño es más sencilla, se tienen menos estaciones de desensamblaje y no es necesario una secuencia independiente para lograr un desensamblaje completo. Ver figura 4.20.

## 4.6 RESULTADOS

Los dibujos de definición para los componentes rediseñados se ilustran en el Apéndice D.

Por otro lado, comparando la tabla 3.1 con la tabla 4.3, se observa una disminución en el número de partes. Esto es, en la tabla 3.1 se tienen 17 diferentes partes y en el rediseño 11. Este rediseño estaría representando un 35.3% en la disminución de partes.

Así mismo, la cantidad de componentes en la tabla 3.1 es de 27, y en el rediseño (tabla 4.3) es de 11. Es decir, se logra una reducción del 59.26 %.

El tiempo base de desensamble, tiene un valor de 124 seg. (es la suma de los valores en la columna 10; figura 3.5), mientras que para el rediseño se estima un tiempo de 66 seg.

Estas comparaciones se pueden resumir en la tabla 4.4

**Tabla 4.4 Comparación de resultados en el diseño original y la propuesta de rediseño**

	Diseño original	Propuesta de rediseño	Disminución
<i># De partes</i>	17	11	35.3 %
<i>Componentes</i>	27	11	59.26%
<i>Tiempo Base</i>	124 seg.	+/- 66 seg.	----

Respecto al reuso de componentes de la bomba, se espera una mayor vida del producto dado que sus componentes son desensamblados de forma más eficiente a un menor costo y, por lo tanto, es más barato cambiar alguna parte dañada y continuar reusando las demás.

En cuanto al reciclaje, éste es prácticamente del 100% ya que en su mayoría el material empleado es acero, hierro, y polímeros; los cuales como es sabido son altamente reciclables. El rediseño propuesto propicia una separación fácil de los materiales antes citados, facilitando el reciclaje aún más.

Respecto a la facilidad de mantenimiento del rediseño, se estima que la bomba rediseñada tiene una mayor vida útil ya que sus partes y componentes podrán ser mejor desensamblados para un mejor mantenimiento.

Por otro lado, aunque no se ha cuantificado, en vista del uso de menos material y componentes en el rediseño, se puede concluir que hay una reducción en el peso de la bomba, por que hay menos partes y componentes.

En cuanto al ensamble, también hay beneficios dado que el rediseño está integrado por menos piezas lo que reduce el tiempo y costo de ensamble.

En algunos de los cambios propuestos, es necesario hacer una evaluación más profunda. Tal es el caso del impulsor, donde se propone que sea de una sola pieza, pero para hacer esta modificación es necesario estudiar que si su volumen de producción es bajo y se quiere hacer por inyección, esto puede ser incosteable. De ahí que sea importante que el DPD sea empleado de un contexto más amplio de diseño, como es el caso de la Ingeniería Concurrente antes de tener un producto totalmente terminado.

También es importante mencionar que estas propuestas de rediseño presentan algunas limitaciones, por ejemplo:

En el caso de cierre de a bomba donde se propone que la cubierta haga la función de un tornillo y a un y cuando la elección de la cuerda y que se supone que habrá buena cimentación de la bomba, puede ser que esta si pueda aflojarse por lo que se tendrá que tener algunas precauciones al respecto.

En el caso del prisionero, también es importante observar un buen apriete en el mismo para que éste, efectivamente logre penetrar al tornillo de precarga. No esta por demás proponer en el plan de mantenimiento de la bomba verificar periódicamente el apriete del mismo.

---

## CONCLUSIONES

En esta tesis se han presentado los principios del *desarrollo sustentable* con los que se diseñan o rediseñan los productos actualmente. Se ha visto que la ingeniería mecánica a través del llamado *diseño del ciclo de vida del producto* es como puede dar respuesta a los requerimientos y especificaciones de índole ambiental y de salud que cada vez más se le requieren a los productos.

También se ha hecho la propuesta de un plan de trabajo que al aplicarlo en las etapas de mantenimiento y reciclaje de la bomba, este ha conducido a resultados bastante satisfactorios como lo son una reducción en el número de partes de 17 a 11, de componentes de 27 a 11 y un tiempo de desensamble (estimado) de 124 seg. a +/- 66 seg. La propuesta, del plan de trabajo, consiste en que este mismo plan (describir, analizar, evaluar y decidir) puede aplicarse a las otras etapas del ciclo de vida de la bomba y así llegar al objetivo ideal de diseñar su ciclo completo.

Así mismo, se ha explorado una técnica de diseño que, en particular, esta cobrando fuerza como lo es, el *diseño para desensamble*; algunos autores han considerado que esta técnica pronto formará parte inseparable de los, por así llamarlos, diseños clásicos como lo son el *diseño para manufactura* y el *diseño para ensamble*. De ahí la importancia de que en este trabajo de tesis se haya hecho una investigación consistente en la búsqueda, selección y aplicación de los métodos que estudian el desensamble de productos. Como resultado de esta investigación se identificaron dos trabajos como aplicables al caso de estudio de la bomba, es decir, los métodos de Ishii y Kroll.

El método de Ishii con su diagrama de espina de pescado resulta de bastante utilidad ya que con una representación gráfica es posible visualizar la problemática que pudiera existir en el desensamble de un producto; problemas como secuencias independientes de desensamble, demasiados subensamble, gran variedad de tipos de material, etc. Es de resaltar un comentario del propio Ishii al decir que estos diagramas son como caminar a través del desensamble, queriendo decir que uno puede hasta visualizar que tan complejo puede resultar el desensamble de un producto.

---

Por otro lado con la carta de evaluación de Kroll, se calcula un parámetro numérico que es representativo de la facilidad de desensamble de un producto y con esto, señalar los puntos en donde concentrar los esfuerzos de diseño o rediseño.

Otro aspecto a considerar en la valoración de esta tesis, es que tras la búsqueda documental de información fue notorio que en México no existe algún precedente publicado donde se manifieste que en el diseño de un producto se han considerado aspectos de desarrollo sustentable o que alguno ha sido diseñado considerando su ciclo de vida (que como se mostró, es la forma como en la actualidad se están diseñando los productos).

---

## REFERENCIAS

1. Boothroyd G. And Ating L., (1992). "DESIGN FOR ASSEMBLY AND DISASSEMBLY". Annals of the CIRP 41/2/1992.
2. Charter M. and Chick A., (1996). "MANAGING ECO-DESIGN: A BUSINESS PERSPECTIVE". The Center for Sustainable Design. Conference Proceedings 1996.
3. Charter Martin, (1998). "SUSTAINABLE VALUE: A DISCUSSION PAPER ON SUSTAINABLE PRODUCT DEVELOPMENT AND DESIGN". The Center for Sustainable Design. 1998.
4. Chicurel R, Reséndiz R. (1982). "OPTIMISED DESIGN OF A NEW POSITIVE DISPLACEMENT PUMP". The American Society of Mechanical Eng., ASME (1982) 82-DE-18.
5. Chicurel R, León J, Reséndiz R. (1986). "APPLICATIONS AND PERSPECTIVES OF A NOVEL SPROCKET TYPE PUMP". International Conference on Positive Displacement Pumps. Chester, England 15-16 October, 1986.
6. Godinez Enciso Juan Andrés, (1994). "DESARROLLO ECONÓMICO Y DETERIORO AMBIENTAL: UNA VISIÓN DE CONJUNTO Y APROXIMACIONES AL CASO MEXICANO". Gestión y Administración # 7 (Departamento de Administración) U.A.M. Azcapotzalco.
7. Harhula T, Rapoza B, Knight W. A., Boothroyd G. (1996). "DESIGN FOR DISASSEMBLY AND THE ENVIRONMENT". Annals of the CIRP Vol. 45/1/1996.
8. Ishii K. (1995). "REVERSE FISHBONE DIAGRAM: A TOOL IN AID OF DESIGN FOR PRODUCT RETIREMENT". The American Society of Mechanical Engineerings, ASME Design Technical Conference.
9. Ishii K. (1996). "MATERIAL SELECTION IN DESIGN FOR RECYCLABILITY". The American Society of Mechanical Engineerings, ASME Design Technical Conference
10. Johansson G., Bjorkman M. (1997). "DISASSEMBLEABILITY - ESSENTIAL COMPONENTS/PRODUCT PROPERTIES". Int. Conference on Engineering Design ICED 97 Tampere, August 19-21.
11. Jovane F., Ating L., Armillotta A., Eversheim W., Feldmann K., Seliger G., Roth N. (1993). "A KEY ISSUE IN PRODUCT LIFE CYCLE: DISASSEMBLY". Annals of the CIRP Vol. 42/2/1993. Keynote Paper.

- 
12. Jovane F, Ating L., Armillotta A, Eversheim W, Feldmann K, Seliger G.; (1993). "A KEY ISSUE IN PRODUCT LIFE CYCLE DISASSEMBLY". Keynote Paper. Annals of the CIRP Vol. 42/2/1993.
  13. Kroll E., Bearsdsley B., Parulian A. (1996). "A METHODOLOGY TO EVALUATE EASE OF DISASSEMBLY FOR PRODUCT RECYCLING". IIE Transactions, 28, 837-845.
  14. Kroll E. (1996) "APPLICATION OF WORK-MEASUREMENT ANALYSIS TO PRODUCT DISASSEMBLY FOR RECYCLING". Concurrent Engineering: Research and Applications, Vol. 4, Num 2, 149-157
  15. Kroll E. Hanft A. Thomas. (1998). "QUANTITATIVE EVALUATION OF PRODUCT DISASSEMBLY FOR RECYCLING". Research in Engineering Design, 10:1-14
  16. Lambert A.J.D. (1999). "DISASSEMBLY PROCESS MODELING PROBLEMS AND SOLUTIONS CONCERNING THEIR ADAPTATION TO PRACTICE". Proceedings of the 15th International Conference on Computer-Aided Production Engineering, CAPE. 1999
  17. Lampert J., Zhoujie M., Meredith D. (2000) "DESIGN FOR DISASSEMBLY"  
<http://www.eng.clemson.edu/~dmered/CLASSES/ME841/DFD.HTM#Introducnon>
  18. Lindbert Lars, (1993). "CONCURRENT ENGINEERING FROM A SYSTEM PERSPECTIVE". Annals of the CIRP Vol. 42/1/1993.
  19. Lee David E. and Kanoff Mel Michael A., (1993). "ISSUES IN PRODUCT LIFE CYCLE ENGINEERING ANALYSIS". Advances in Design Automation. Volume 1. ASME 1993. Pag. 75-66.
  20. Manchester Metropolitan University, UK. (2000) "DESIGN FOR ENVIRONMENT, dfe" (research group).  
<http://sun1.mpce.stu.mmu.ac.uk/pages/projects/dfe/guide/guidlin3.html>.
  21. Mueller K. G., Court A. W. and Besant C.B., (199). "ENERGY LIFE CYCLE DESIGN: A METHOD". Proc Instn Mech Engrs Vol.213 Part B. Pag. 415-419.
  22. Poolton J., Barclay I., (1995). "CONCURRENT ENGINEERING ASSESSMENT: A PROPOSED FRAMWORK". ImechE 1996. Part B: Journal of Engineering Manufacture.

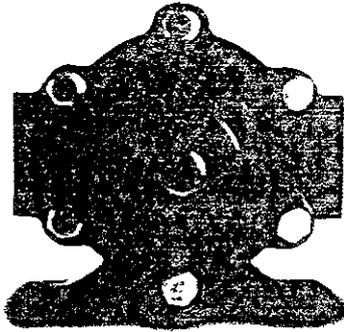
- 
23. Spalding Mark J., J.D., M.P.I.A., (1996). "DESARROLLO SUSTENTABLE EN LA FRONTERA MÉXICO-ESTADOS UNIDOS". Conferencia del servicio cultural y prensa de los E.U. sistema Internet de la presidencia. [Http://www.presidencia.gob.mx/pub/informe3/cap5c-ig97.html](http://www.presidencia.gob.mx/pub/informe3/cap5c-ig97.html)
  24. Tipnis Vijay A.; (1993). "EVOLVING ISSUES IN PRODUCT LIFE CYCLE DESIGN". Annals of the CIRP Vol 42/1/1993.
  25. Weule H., (1993). "LIFE CYCLE ANALYSIS: A STRATEGIC ELEMENT FOR FUTURE PRODUCTS AND MANUFACTURING TECHNOLOGIES ". Annals of the CIRP 42/1/1993.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Aguirre Esponda Guillermo, (1990). "DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS". Edit. Tallas.
2. Ashby M.F. (1992). "MATERIAL SELECTION IN MECHANICAL DESIGN". Edit. Pergamon Press
3. Beer P. Ferdinand, Johnston Russell E. (1993). "MECÁNICA DE MATERIALES". Edit. McGraw Hill 2ª edición
4. Cross Nigel (1991). "ENGINEERING DESIGN METHODS". Edit. John Wiley and Sons.
5. Faires Moring Virgil (1993). "DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS". Edit. UTEHA Noriega Editores
6. Gilpin Alan, (1998). "DICTIONARY OF ENVIRONMENT AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT". Edit Wiley.
7. Grand Le Rupert (1966). "NUEVO MANUAL DEL TALLER MECÁNICO". Edit labor S.A.
8. Kusiak Andrew; (1993). "CONCURRENT ENGINEERING AUTOMATION, TOOLS AND TECHNIQUES". Edit. John Wiley and Sons, Inc.
9. Orthwein C. William (1996). "DISEÑO DE ELEMENTOS DE COMPONENTES DE MÁQUINAS". Edit. CECSA.
10. Shigley Joseph Edwards, Mischke Charles R., (1990). "DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA". Edit MacGrow-Hill 5ta. Edición .

- 
11. SKF (1997). Catálogo General.
  12. Svan C.S, (1994). "CONCURRENT ENGINEERING: CONCEPTS, IMPLEMENTACIÓN AND PRACTICE"  
Edit. Chapman and Hall.
  13. Ulrich Kart T. and Eppinger Steven D., (1995). "PRODUCT DESIGN AND DEVELOPMENT". Mc Graw Hill  
International Editions.
  14. Weck M., Everssheim W., Köning W. Pfeifer T. (1991). "PRODUCTION ENGINEERING, THE  
COMPETITIVE EDGE". Butterworth Heinemann, Oxford 1991, ISBN07506-1262-2

# Positivo



## ESPECIFICACIONES

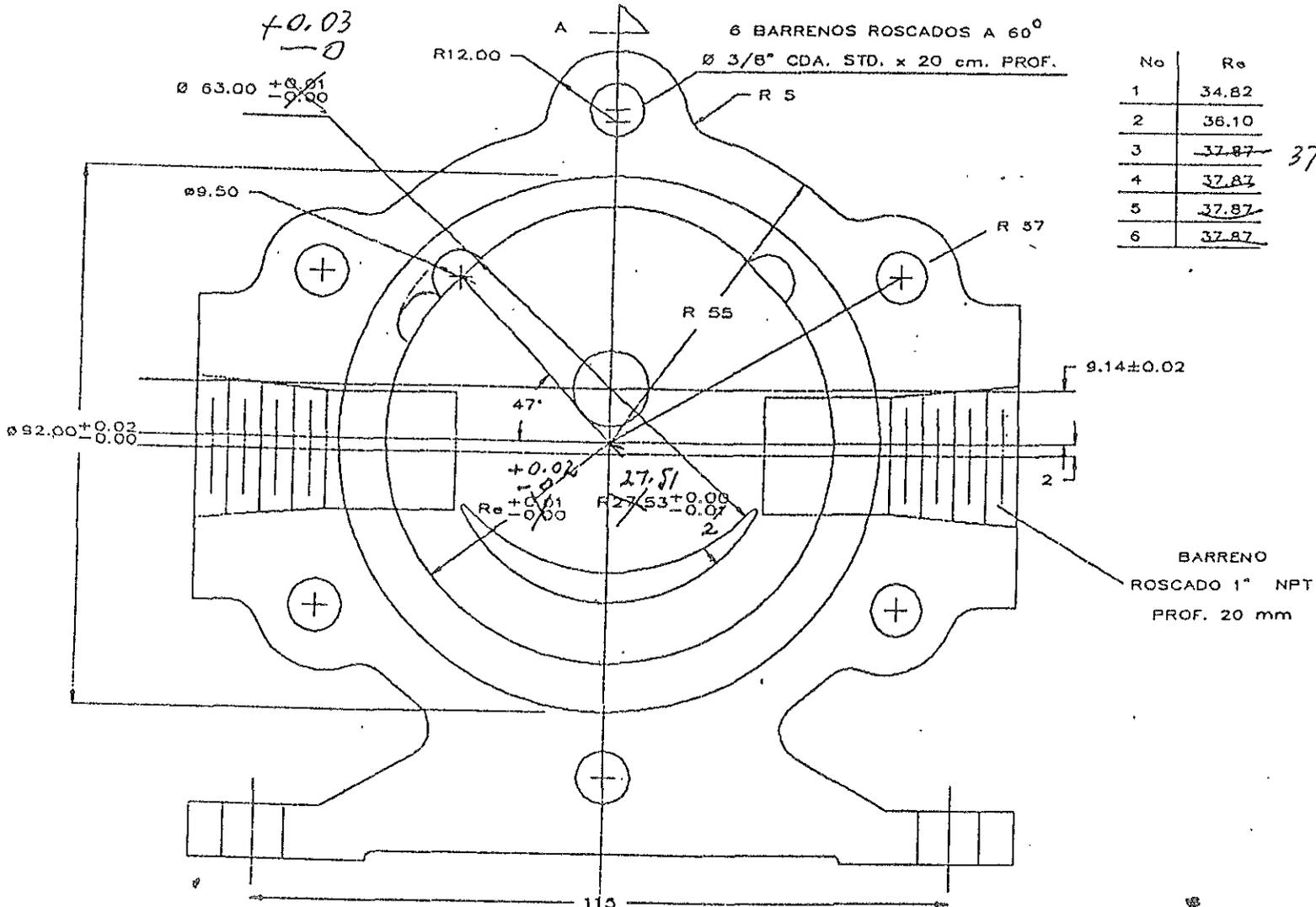
Las bombas DYFIMSA pueden manejar fluidos con una gama de viscosidades que van desde 1 hasta 500,000 cps con presiones de descarga hasta 15 kg/cm<sup>2</sup> (213 psi) y gastos hasta 1,400 lpm (370 gpm).

La siguiente tabla muestra los gastos y las potencias requeridas para los diferentes modelos de bombas DYFIMSA. Las velocidades indicadas son las máximas recomendadas para fluidos con viscosidades de 50 cps (aceite ligero SAE 10) o menos. Para viscosidades superiores a 50 cps, las velocidades de operación dadas en la tabla deben reducirse, con una consecuente reducción de los gastos. Favor de consultarnos.

### GASTO Y POTENCIA REQUERIDA\*

Modelo	Velocidad rpm	Presión Diferencial							
		0 kg/cm <sup>2</sup>		5 kg/cm <sup>2</sup>		10 kg/cm <sup>2</sup>		15 kg/cm <sup>2</sup>	
		lpm	hp	lpm	hp	lpm	hp	lpm	hp
B5.3	1750	9.2	0.2	7.8	0.3	6.3	0.4	4.9	0.5
B10.2	1750	13.6	0.3	11.2	0.4	8.9	0.5	6.5	0.7
B40.3	1750	37.2	0.7	30.9	1.1	24.6	1.5	18.3	1.9
B40.4	1750	50.0	0.7	44.0	1.2	38.0	1.8	32.0	2.3
B40.6	1150	49.0	0.3	43.3	0.9	37.6	1.5	31.9	2.1
B135.4	1150	94.3	1.0	80.2	2.1	66.2	2.2	52.1	3.3
B135.6	1150	118	1.0	104	2.4	91.0	3.7	77.3	5.1
B135.9	1150	157	1.0	143	2.7	130	4.4	116	6.1
B320.6	1150	391	2.4	367	6.7	343	11	319	15
B785	850	710	3.5	666	11	622	19	579	26
B2000	460	1429	2.5	1326	18	1224	34	1122	50

\* Los datos son para una viscosidad de 50 cps (aceite ligero SAE 10). Las velocidades indicadas son las máximas recomendadas para 50 cps o menos



No	Re
1	34.82
2	36.10
3	<del>37.87</del>
4	<del>37.82</del>
5	<del>37.87</del>
6	<del>37.87</del>

37.89

**BOMBAS DYFIMSA**

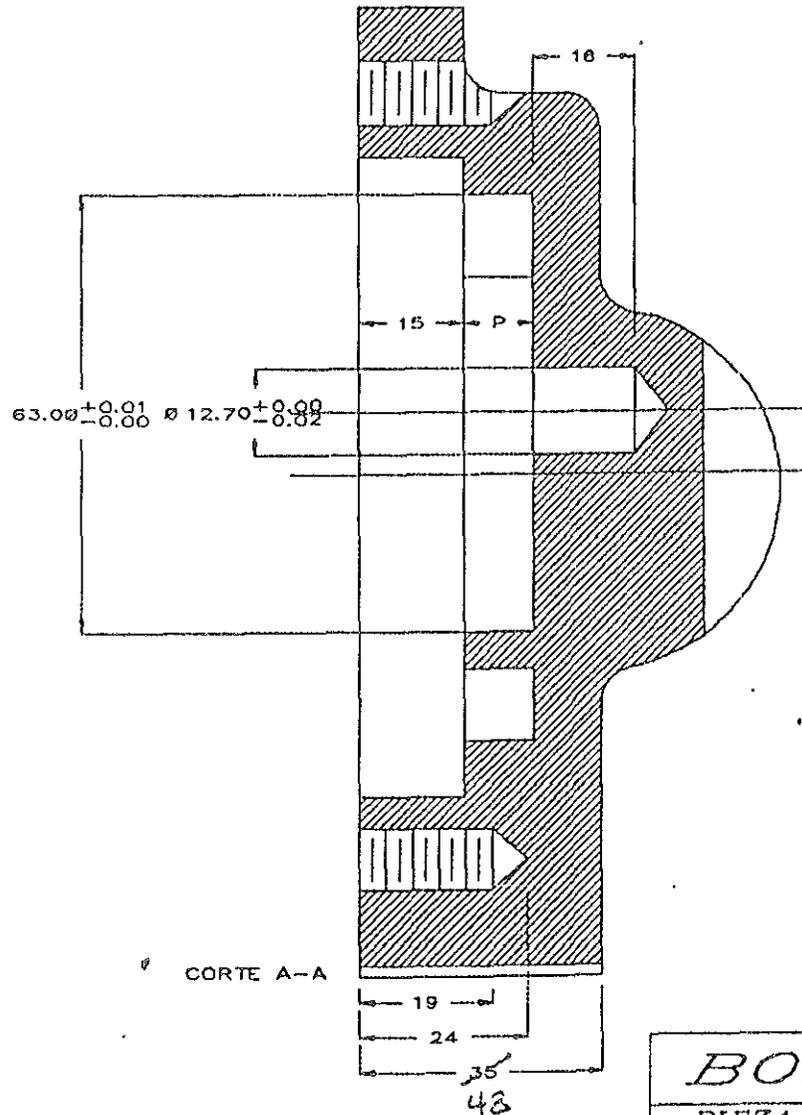
PIEZA  
 CUERPO B-40

MATERIAL  
 HIERRO ASTM-48

ESCALA  
 1 = 1

COTAS  
 mm

FECHA



No	P
1	10
2	10
3	10
4	13
5	16
6	20

*BOMBAS DYFIMSA*

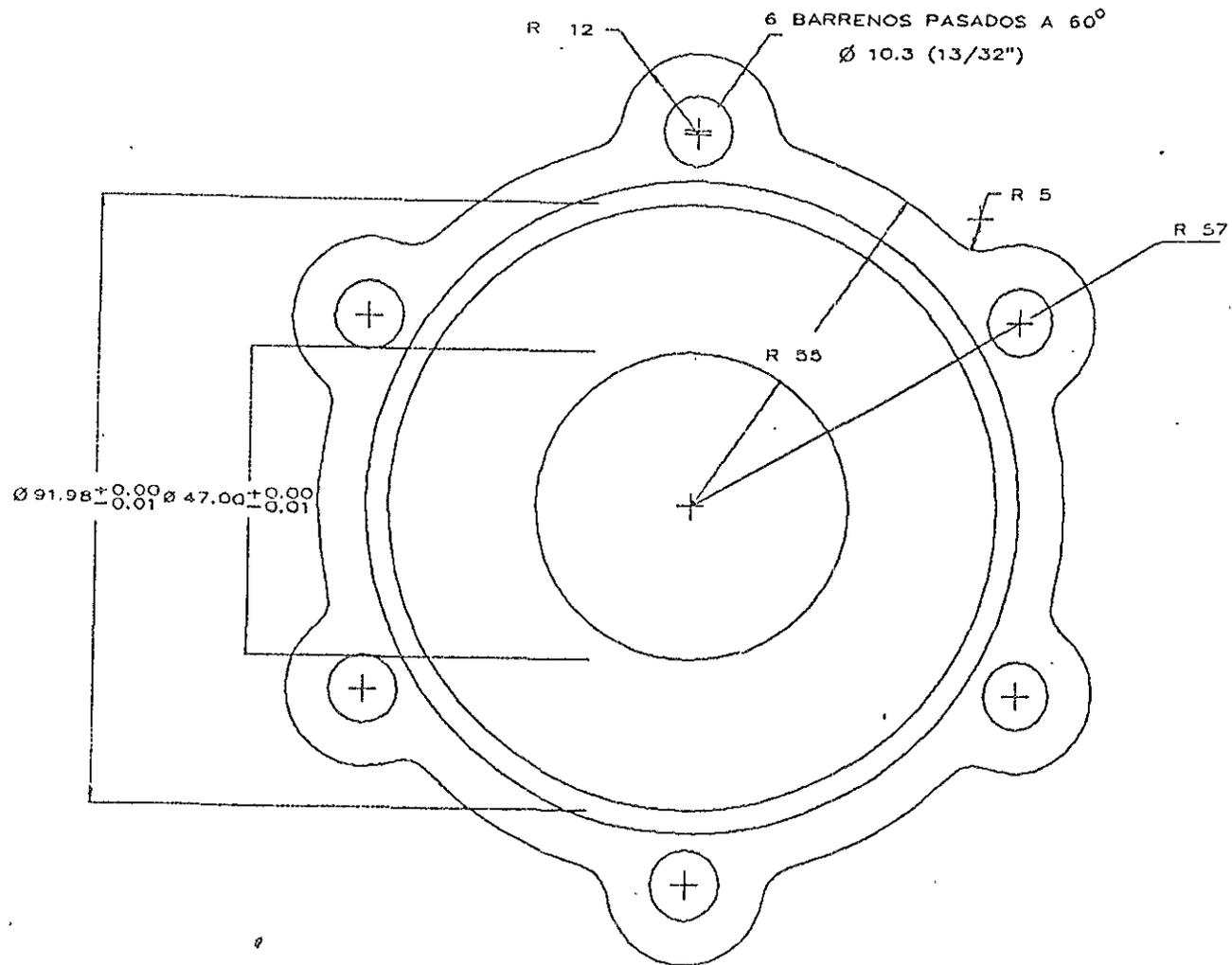
PIEZA  
CORTE A-A B-40

MATERIAL  
HIERRO ASTM-48

ESCALA  
1 = 1

COTAS  
mm

FECHA



# BOMBAS DYFIMSA

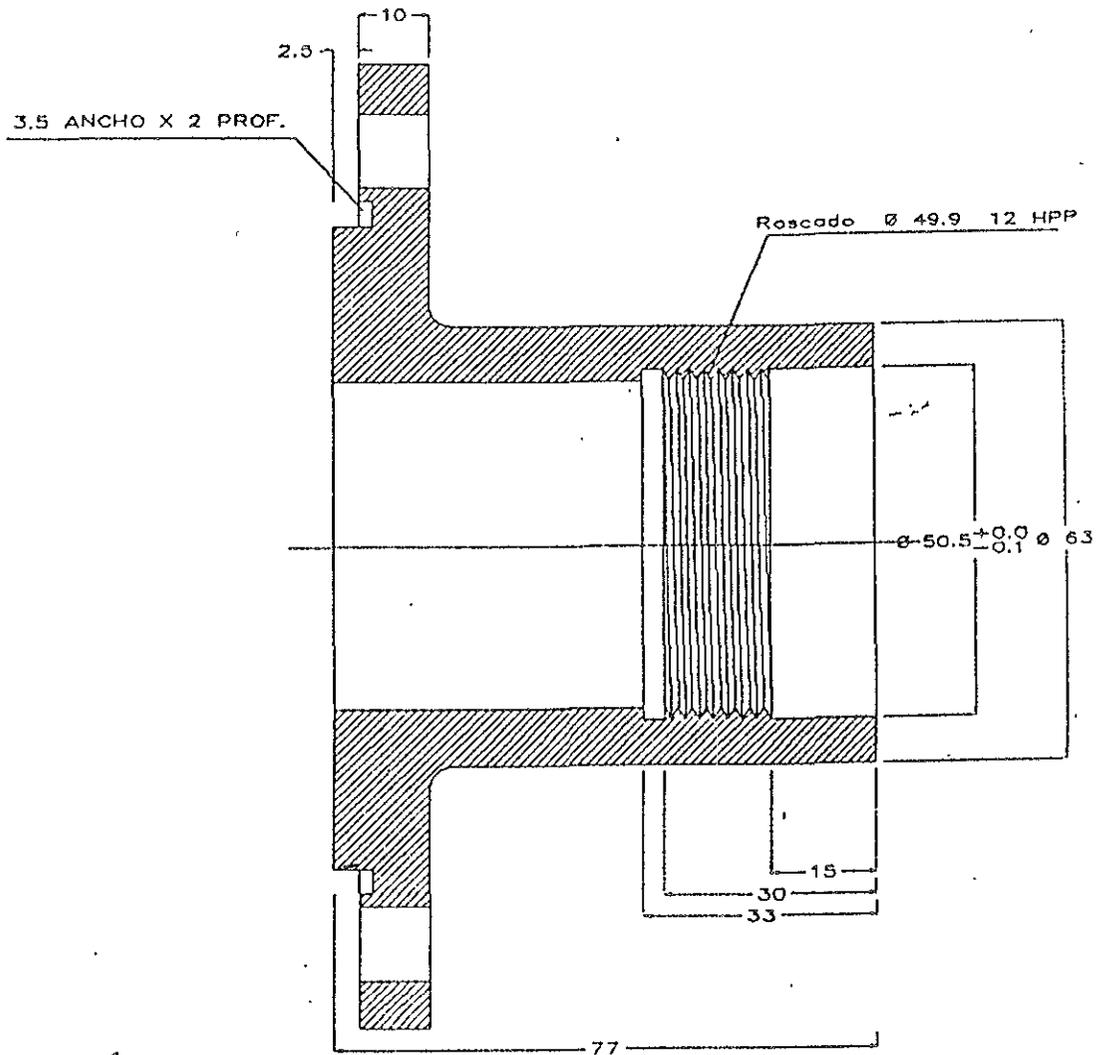
PIEZA  
CUBIERTA B-40

MATERIAL  
HIERRO ASTM-48

ESCALA  
1 = 1

COTAS  
mm

FECHA



# BOMBAS DYFIMSA

PIEZA SEC CUBIERTA B-40	MATERIAL HIERRO ASTM-48
----------------------------	----------------------------

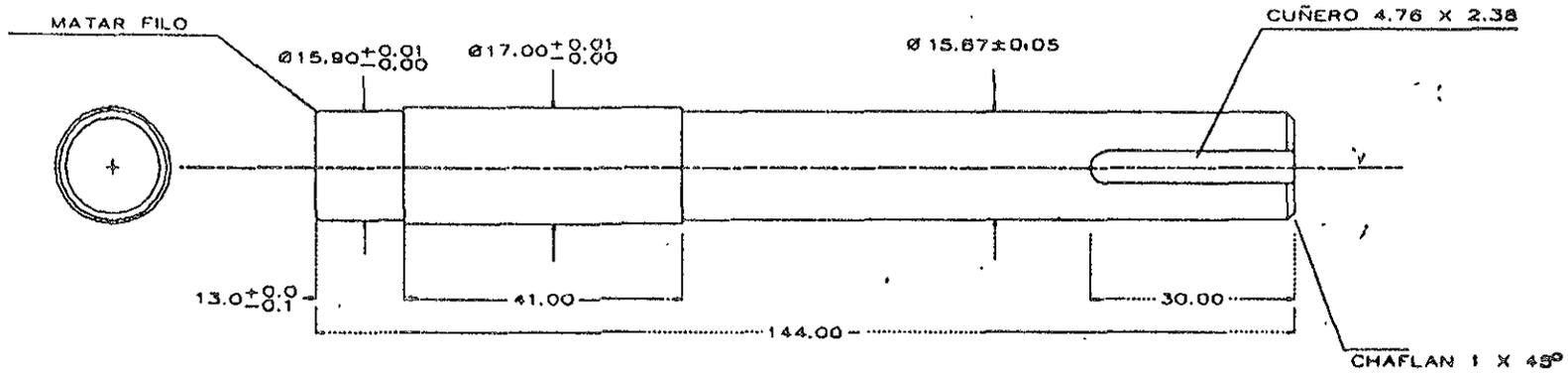
ESCALA

1 = 1

COTAS

mm

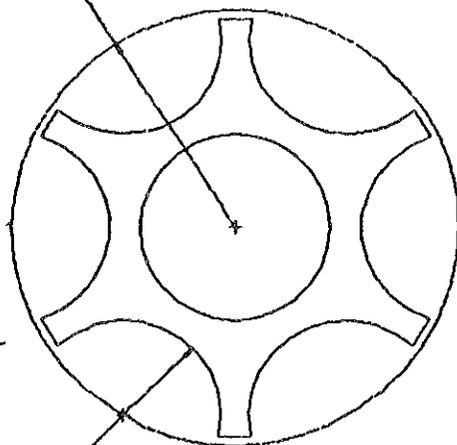
FECHA



MA 10-A

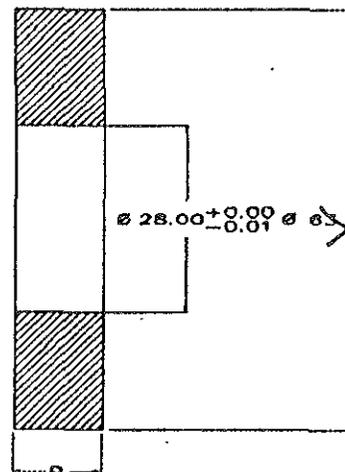
<b>BOMBAS DYFIMSA</b>		
PIEZA FLECHA B-10 y 40		MATERIAL AISI 1018
ESCALA 1 = 1	COTAS mm	FECHA

R32.70<sup>+0.00</sup>  
-0.02



~~14.33~~<sup>+0.04</sup>  
-0.00

14.33<sup>+0.04</sup>  
-0



~~62.95~~<sup>+0.00</sup>  
-0.02

62.95<sup>+0.00</sup>  
-0.02

No	P
1	10
2	10
3	10
4	13
5	18
6	20

**BOMBAS DYFIMSA**

PIEZA  
ESTRELLA B-40

MATERIAL  
HIERRO ASTM-48

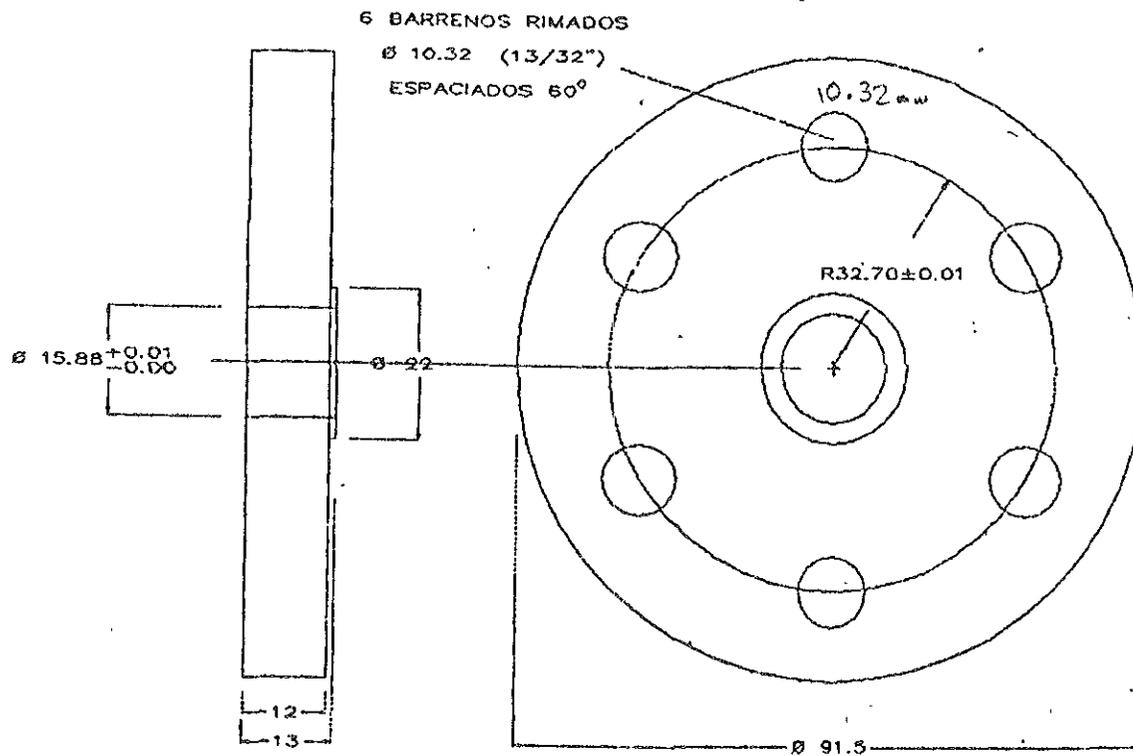
ESCALA

1 = 1

COTAS

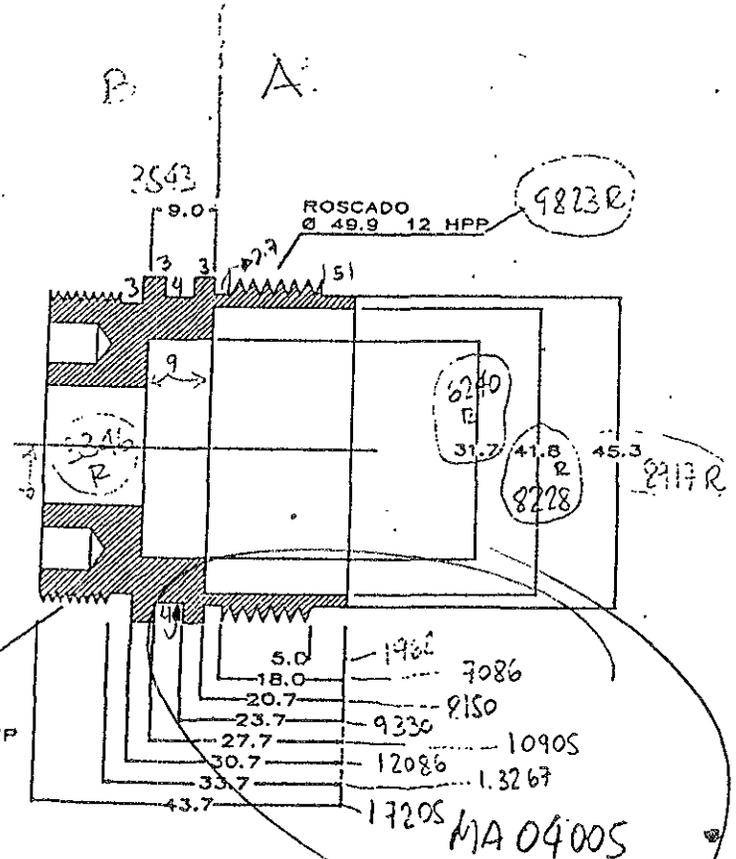
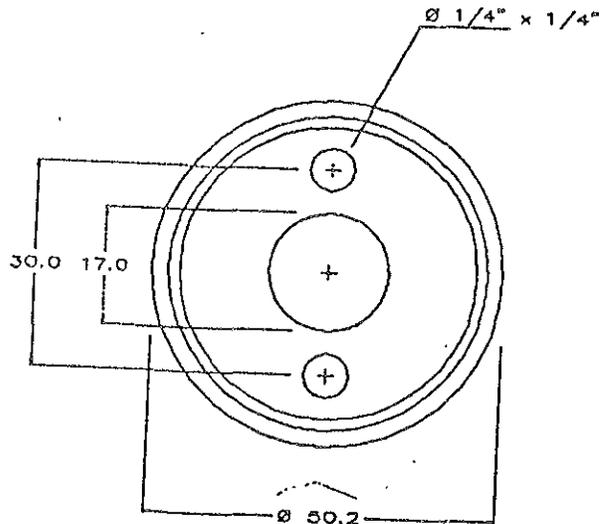
mm

FECHA

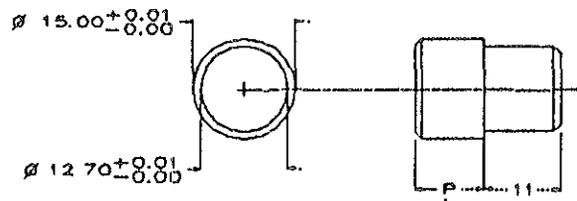


*BOMBAS DYFIMSA*

PIEZA DISCO B-40		MATERIAL ACERO AISI 4140T
ESCALA	COTAS	FECHA



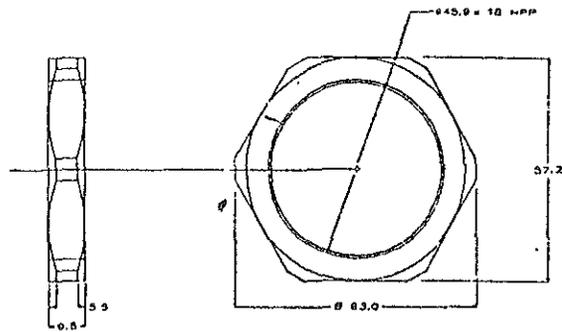
<b>BOMBAS DYFIMSA</b>		
PIEZA		MATERIAL
TORNILLO PRECARGA		AI SI 1045
ESCALA	COTAS	FECHA
1 = 1	mm	



# BOMBAS DYFIMSA

PIEZA PERNO B-40	MATERIAL ACERO AISI 4140T
---------------------	------------------------------

ESCALA 1 = 1	COTAS mm	FECHA
-----------------	-------------	-------



<b>BOMBAS DYFIMSA</b>	
PIEZA	MATERIAL
CONTRATUERCA	FREE CUTTING 12L14
ESCALA	FECHA
COTAS	

## APÉNDICE C

El procedimiento de evaluación se centra alrededor de una tabla (ver figura A) y de un catálogo de evaluación de tareas para desensamblar (Kroll 1996).

CARTA DE EVALUACIÓN EN DESENSAMBLE													
Producto: Preparado por:												Fecha: Hoja:	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
							Grado de dificultad						
							1 (Fácil)	10 (Difícil)					
Parte #	Cantidad	Mínimo # de Partes	Tipo de tarea	# de repeticiones en la tarea	Herramientas requeridas	Accesibilidad	Posicionamiento	Fuerza	Tiempo base	Espectar	Subtotal	Total	Comentarios

**Figura A. Estructura de una Carta de Evaluación en Desensamblar. (Kroll, 1996 y 1998)**

Cada columna contiene datos para diferenciar los aspectos que se involucran en un desensamblar.

Las columnas se llenan siguiendo las siguientes observaciones.

**Columna 1: Número de parte.** A cada parte se le asigna un número que la identifica. Las partes que son removidas al mismo tiempo y bajo las mismas condiciones se les asigna el mismo número.

**Columna 2: Cantidad.** Es el número de piezas que tienen el mismo número de parte de la columna 1.

**Columna 3: Mínimo número de partes teórico.** Aquí el propósito es identificar oportunidades para eliminar o consolidar partes. Una parte se requiere separada si satisface cualquiera de los siguientes criterios establecidos en el trabajo de diseño para ensamblar de Boothroyd y Dewhurst. Los cuales son:

- Durante la operación del producto, ¿la parte está en movimiento relativo a todas las demás partes aún ensamblado?
- ¿La mayoría de las partes deben ser echas de diferentes materiales o aisladas de otras partes aún ensamblados?
- ¿Las partes deben ser separadas de las demás aún ensambladas, por qué de lo contrario el ensamblar o desensamblar de las otras partes resulta imposible?

**Columna 4: Tipo de tarea.** Este punto es fundamental para calificar la dificultad de las operaciones de desensamble. Algunas tareas de desensamble estandarizadas se presentan en la tabla A.

**Tabla A. Códigos de tareas de desensamble**

Un- Destornillar	Tu- Dar vuelta	We- Cuña
Re- Remover	Fl- Dar un tirón	De- Deformar
Ho- Sujetar	Sa- Aserrar	Dr- Taladrar
Pe- Pelar	Cl - Limpiar	Gr- Moler
In- Inspeccionar	Pu- Empujar	Ha- Martillar

**Columna 5: Número de repeticiones en la tarea.** Es el número de veces que una tarea de desensamble es llevada a cabo. Una parte puede requerir de diferentes tareas.

**Columna 6: Requerimiento de Herramientas** En la tabla B, se listan algunas herramientas de desensamble con sus códigos. Si solamente son empleadas las manos entonces la columna se deja en blanco. Se agrega un número al código si se emplean herramientas del mismo tipo pero de diferente medida.

**Tabla B. Códigos de las herramientas estándar en desensamble.**

DESARMADORES:

PS- ATORNILLADO AUTOMÁTICO  
PHILIPS

FS- Desarmador plano  
ND- Dados  
FW- Llave con extremo fijo  
PW- Llave eléctrica  
AK- Llave Allen  
AW- Llave ajustable

REMOVEDOR Y ACCESORIOS:

VS- Tornillo  
PL- Alicatas

OTROS:

BR- Brocha  
RG- Trapo  
ST- Herramienta especial

CORTE Y FRACTURA:

KN- CUCHILLO  
WC- CUTER DE ALAMBRE  
SH- Tijeras  
DR- Taladro  
PG- Moledora eléctrica manual  
GW- Ruedas moledoras  
HS- Segueta eléctrica  
BS- Segueta eléctrica de  
banda

HM- Martillo  
CH- Cincel

**Columna 7-11: Estimación de la dificultad.** A cada tarea se le asigna una calificación cuantitativa en la dificultad en cinco aspectos. La calificación esta basada en una escala del 1 (fácil) al 10 (difícil), y son obtenidas de cartas que incluyen calificaciones para hacer cada tarea bajo diferentes condiciones (Kroll 1996). Los aspectos son:

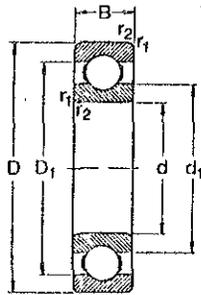
- **Accesibilidad:** Es también un indicador de claridad que existe entre los componentes.
- **Posicionamiento:** es el grado de precisión requerida para el posicionamiento de la mano o de una herramienta.
- **Fuerza:** es una medida de la cantidad de fuerza requerida para hacer una tarea.
- **Tiempo base:** es el tiempo requerido para hacer los movimientos de la tarea básica sin dificultad. Esta categoría excluye cualquier tiempo gastado posicionando la herramienta o vencer cualquier resistencia.
- **Especial:** Esta categoría cubre circunstancias especiales no consideradas en el modelo estándar.

**Columna 12: Número de parte.** Es la suma de las columnas 7-11. Esto representa la dificultad en hacer una simple representación de la tarea.

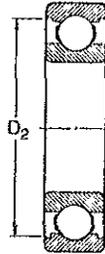
**Columna 13: Total.** Es el producto de la columna 12 y 5 y representa las repeticiones de una tarea.

**Columna 14: Comentarios.** Aquí se explica circunstancias especiales como las tareas requeridas, las herramientas especiales, etc.

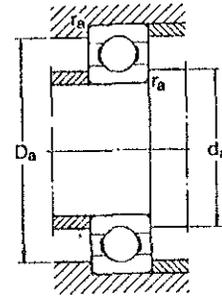
**Rodamientos rígidos  
de una hilera de bolas  
15-30 mm**



Sin ranuras en el aro exterior

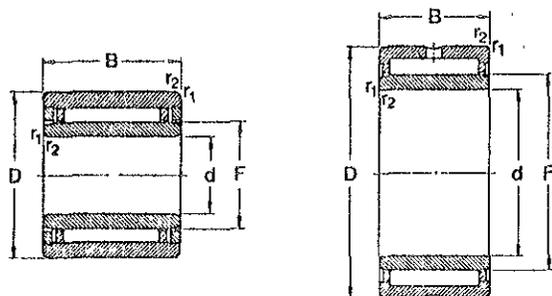


Con ranuras en el aro exterior



Dimensiones principales		Capacidad de carga dinám.		Carga límite de fatiga estát.	Carga límite de fatiga P <sub>u</sub>	Velocidad nominal Lubricación con grasa	Velocidad nominal Lubricación con aceite	Masa	Designación
D	B	C	C <sub>0</sub>	N	N	r/min	r/min	kg	-
24	5	1 560	800	34	34	28 000	34 000	0,0074	61802
28	7	4 030	2 040	85	85	24 000	30 000	0,016	61902
32	8	5 590	2 850	120	120	22 000	28 000	0,025	16002
32	9	5 590	2 850	120	120	22 000	28 000	0,030	6002
35	11	7 600	3 750	160	160	19 000	24 000	0,045	6202
42	13	11 400	5 400	228	228	17 000	20 000	0,082	6302
26	5	1 680	930	39	39	24 000	30 000	0,0082	61803
30	7	4 360	2 320	98	98	22 000	28 000	0,018	61903
35	8	6 050	3 250	137	137	19 000	24 000	0,032	16003
35	10	6 050	3 250	137	137	19 000	24 000	0,039	6003
40	12	9 560	4 750	200	200	17 000	20 000	0,065	6203
47	14	13 500	6 550	275	275	16 000	19 000	0,12	6303
62	17	22 900	10 800	455	455	12 000	15 000	0,27	6403
32	7	2 700	1 500	63	63	19 000	24 000	0,018	61804
37	9	6 370	3 650	156	156	18 000	22 000	0,038	61904
42	8	6 890	4 050	173	173	17 000	20 000	0,050	16004
42	12	9 360	5 000	212	212	17 000	20 000	0,069	6004
47	14	12 700	6 550	280	280	15 000	18 000	0,11	6204
52	15	15 900	7 800	335	335	13 000	16 000	0,14	6304
72	19	30 700	15 000	640	640	10 000	13 000	0,40	6404
37	7	4 360	2 600	125	125	17 000	20 000	0,022	61805
42	9	6 630	4 000	176	176	16 000	19 000	0,045	61905
47	8	7 610	4 750	212	212	14 000	17 000	0,060	16005
47	12	11 200	6 550	275	275	15 000	18 000	0,080	6005
52	15	14 000	7 800	335	335	12 000	15 000	0,13	6205
62	17	22 500	11 600	490	490	11 000	14 000	0,23	6305
80	21	35 800	19 300	815	815	9 000	11 000	0,53	6405
42	7	4 490	2 900	146	146	15 000	18 000	0,027	61806
47	9	7 280	4 550	212	212	14 000	17 000	0,051	61906
55	9	11 200	7 350	310	310	12 000	15 000	0,085	16006
55	13	13 300	8 300	355	355	12 000	15 000	0,12	6006
62	16	19 500	11 200	475	475	10 000	13 000	0,20	6206
72	19	28 100	16 000	670	670	9 000	11 000	0,35	6306
80	23	43 600	23 600	1 000	1 000	8 500	10 000	0,74	6406

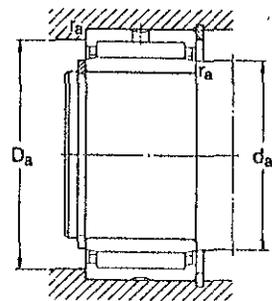
Otras dimensiones		Dimensiones de resaltes					
d	d <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	r <sub>1,2</sub> mín	d <sub>a</sub> mín	D <sub>a</sub> máx	r <sub>a</sub> máx
mm							
15	17,9	21,1	-	0,3	17	22	0,3
	18,4	24,7	-	0,3	17	26	0,3
	20,2	27	28,2	0,3	17	30	0,3
	20,2	27	28,2	0,3	17	30	0,3
	21,5	29,2	30,4	0,6	19	31	0,6
	23,7	33,9	36,3	1	20	37	1
17	20,2	23,2	-	0,3	19	24	0,3
	20,4	26,7	-	0,3	19	28	0,3
	22,7	29,5	31,2	0,3	19	33	0,3
	22,7	29,5	31,2	0,3	19	33	0,3
	24,2	32,9	35	0,6	21	36	0,6
	26,5	37,6	39,6	1	22	42	1
	32,4	47,4	-	1,1	23,5	55,5	1
20	24	28,3	-	0,3	22	30	0,3
	25,6	31,4	-	0,3	22	35	0,3
	27,3	34,6	-	0,3	22	40	0,3
	27,2	35,1	37,2	0,6	24	38	0,6
	28,5	38,7	40,6	1	25	42	1
	30,3	42,1	44,8	1,1	26,5	45,5	1
	37,1	55,6	-	1,1	28,5	65,5	1
25	28,5	33,3	-	0,3	27	35	0,3
	30,2	36,8	-	0,3	27	40	0,3
	33,3	40,7	-	0,3	27	45	0,3
	32	40,3	42,2	0,6	29	43	0,6
	34	44,2	46,3	1	30	47	1
	36,6	50,9	52,7	1,1	31,5	55,5	1
	45,4	63,8	-	1,5	33	72	1,5
30	33,7	38,5	-	0,3	32	40	0,3
	35,2	41,8	-	0,3	32	45	0,3
	38	47,3	-	0,3	32	53	0,3
	38,2	47,1	49	1	35	50	1
	40,3	52,1	54,1	1	35	57	1
	44,6	59,9	61,9	1,1	36,5	65,5	1
	50,3	70,7	-	1,5	38	82	1,5



Serie NKI  
(d ≤ 9 mm)

Serie NKI(S) (d ≥ 10 mm)  
Serie NA

Dimensiones de resales		Capacidad de carga		Carga límite de fatiga	Velocidad nominal		Masa	Designación
D	B	C	C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	grasa	aceite	kg	-
		N		N	r/min			
15	12	3 800	4 250	465	28 000	40 000	0,012	NKI 5/12
15	16	5 010	5 050	670	28 000	40 000	0,015	NKI 5/16
16	12	4 400	5 200	570	24 000	36 000	0,014	NKI 6/12
16	16	5 720	7 200	815	24 000	36 000	0,018	NKI 6/16
17	12	4 570	5 700	630	22 000	34 000	0,014	NKI 7/12
17	16	5 940	8 000	900	22 000	34 000	0,018	NKI 7/16
19	12	6 710	8 150	965	19 000	30 000	0,017	NKI 9/12
19	16	9 130	12 000	1 460	19 000	30 000	0,022	NKI 9/16
22	13	8 800	10 400	1 250	17 000	26 000	0,023	NA 4900
22	16	10 200	12 500	1 530	17 000	26 000	0,029	NKI 10/16
22	20	12 800	16 600	2 080	17 000	26 000	0,037	NKI 10/20
24	13	9 900	12 200	1 460	16 000	24 000	0,026	NA 4901
24	16	11 700	15 300	1 860	16 000	24 000	0,033	NKI 12/16
24	20	14 500	20 000	2 500	16 000	24 000	0,042	NKI 12/20
24	22	16 100	23 200	2 900	16 000	24 000	0,046	NA 6901
27	16	13 400	19 000	2 320	14 000	20 000	0,039	NKI 15/16
27	20	16 500	25 500	3 200	14 000	20 000	0,049	NKI 15/20
28	13	11 200	15 300	1 830	13 000	19 000	0,034	NA 4902
28	23	17 200	27 000	3 400	13 000	19 000	0,064	NA 6902
29	16	13 800	20 400	2 500	13 000	19 000	0,043	NKI 17/16
29	20	17 200	27 000	3 450	13 000	19 000	0,054	NKI 17/20
30	13	11 400	16 300	1 960	12 000	18 000	0,037	NA 4903
30	23	18 700	30 500	3 900	12 000	18 000	0,072	NA 6903
37	20	26 000	33 500	4 250	9 500	15 000	0,098	NKIS 17
32	16	15 400	24 500	3 000	10 000	16 000	0,049	NKI 20/16
32	20	19 000	32 500	4 050	10 000	16 000	0,061	NKI 20/20
37	17	21 600	28 000	3 550	9 500	15 000	0,075	NA 4904
37	30	35 200	53 000	6 950	9 500	15 000	0,14	NA 6904
42	20	28 600	39 000	5 000	8 500	13 000	0,13	NKIS 20

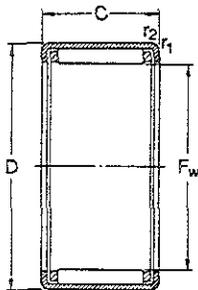


Otras dimensiones				Dimensiones de resales		
d	F	r <sub>1,2</sub> min	s <sup>1)</sup>	d <sub>a</sub> min	D <sub>a</sub> max	r <sub>a</sub> max
mm						
5	8	0,3	1,5	7	13	0,3
	8	0,3	2	7	13	0,3
6	9	0,3	1,5	8	14	0,3
	9	0,3	2	8	14	0,3
7	10	0,3	1,5	9	15	0,3
	10	0,3	2	9	15	0,3
9	12	0,3	1,5	11	17	0,3
	12	0,3	2	11	17	0,3
10	14	0,3	0,5	12	20	0,3
	14	0,3	0,5	12	20	0,3
	14	0,3	0,5	12	20	0,3
12	16	0,3	0,5	14	22	0,3
	16	0,3	0,5	14	22	0,3
	16	0,3	0,5	14	22	0,3
	16	0,3	1	14	22	0,3
15	18	0,3	0,5	17	25	0,3
	19	0,3	0,5	17	25	0,3
	20	0,3	0,5	17	26	0,3
	20	0,3	1	17	26	0,3
17	21	0,3	0,5	19	27	0,3
	21	0,3	0,5	19	27	0,3
	22	0,3	0,5	19	28	0,3
	22	0,3	1	19	28	0,3
	24	0,6	0,5	21	33	0,6
20	24	0,3	0,5	22	30	0,3
	24	0,3	0,5	22	30	0,3
	25	0,3	0,8	22	35	0,3
	25	0,3	1	22	35	0,3
	26	0,6	0,5	24	38	0,6

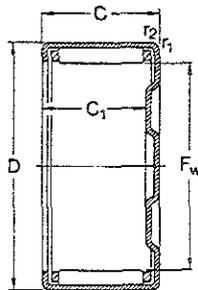
<sup>1)</sup> Desplazamiento axial permisible desde la posición normal de un aro del rodamiento con relación al otro

# Casquillos de agujas

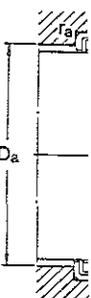
F<sub>w</sub> 18-45 mm



Sin fondo  
serie HK



Con fondo  
serie BK



Dimensiones principales	Capacidad de carga dinám.		Carga límite de fatiga estát.		Carga límite de fatiga P <sub>u</sub>	Velocidad nominal		Masas		Designaciones Casquillos		Otras dimensiones	Dimensiones de resalte						
	F <sub>w</sub>	D	C	C <sub>0</sub>		r/min	Sin fondo	Con fondo	sin fondo	con fondo	F <sub>w</sub>		C <sub>1</sub>	r <sub>1,2</sub> mm	D <sub>a</sub> max	r <sub>a</sub> máx.			
mm	N		N			g		-		mm		mm							
18	24	12	7 920	11 200	1 270	9 500	15 000	13	15	HK 1812	BK 1812	18	9,3	0,8					
	24	16	11 200	17 600				2 040	9 500	15 000	18				20	HK 1816	BK 1816	19	0,8
20	26	10	6 160	8 500	930	9 000	14 000	12	-	HK 2010	-	20	-	0,8					
	26	12	8 420	12 500				1 400	9 000	14 000	14				17	HK 2012	BK 2012	20,8	0,8
	26	16	12 300	20 400				2 360	9 000	14 000	19				22	HK 2016	BK 2016	20,8	0,8
	26	20	15 100	26 500				3 150	9 000	14 000	24				27	HK 2020	BK 2020	20,8	0,8
	26	30	20 900	40 500				4 750	9 000	14 000	35				38	HK 2030 <sup>1)</sup>	BK 2030 <sup>1)</sup>	20,8	0,8
22	28	10	7 210	10 600	1 200	8 000	12 000	12	-	HK 2210	-	22	-	0,8					
	28	12	8 800	13 700				1 560	8 000	12 000	15				18	HK 2212	BK 2212	23	0,8
	28	16	13 000	22 400				2 600	8 000	12 000	21				24	HK 2216	BK 2216	23	0,8
	28	20	15 700	29 000				3 450	8 000	12 000	26				30	HK 2220	BK 2220	23	0,8
25	32	12	10 500	15 300	1 760	7 500	11 000	21	24	HK 2512	BK 2512	25	9,3	0,8					
	32	16	15 100	24 000				2 850	7 500	11 000	27				31	HK 2516	BK 2516	27	0,8
	32	20	19 000	32 500				4 000	7 500	11 000	34				39	HK 2520	BK 2520	27	0,8
	32	26	24 200	45 000				5 500	7 500	11 000	45				49	HK 2526	BK 2526	27	0,8
	32	38	33 000	65 500				8 000	7 500	11 000	65				69	HK 2538 <sup>1)</sup>	BK 2538 <sup>1)</sup>	27	0,8
28	35	16	15 700	26 500	3 150	6 700	9 500	30	34	HK 2816	BK 2816	28	13,3	0,8					
	35	20	20 100	36 500				4 400	6 700	9 500	38				43	HK 2820	BK 2820	30	0,8
30	37	12	11 700	18 300	2 120	6 300	9 000	24	28	HK 3012	BK 3012	30	9,3	0,8					
	37	16	16 500	29 000				3 400	6 300	9 000	32				37	HK 3016	BK 3016	32	0,8
	37	20	20 900	40 000				4 750	6 300	9 000	40				47	HK 3020	BK 3020	32	0,8
	37	26	27 000	54 000				6 550	6 300	9 000	53				59	HK 3026	BK 3026	32	0,8
35	37	38	35 800	80 000	9 500	6 300	9 000	76	83	HK 3038 <sup>1)</sup>	BK 3038 <sup>1)</sup>	32	0,8						
	42	12	12 500	21 600	2 450	5 600	8 000	28	33	HK 3512	BK 3512	35	9,3	0,8					
	42	16	17 900	34 000				4 000	5 600	8 000	37				44	HK 3516	BK 3516	37	0,8
	42	20	22 900	46 500				5 600	5 600	8 000	46				55	HK 3520	BK 3520	37	0,8
	47	12	13 400	24 500				2 800	5 000	7 000	31				38	HK 4012	BK 4012	40	9,3
47	16	19 000	39 000	4 550							5 000				7 000	42	51		
47	20	24 200	53 000	6 400	5 000	7 000	52				62	HK 4020	BK 4020	42	0,8				
45	12	14 200	27 500	3 200	4 500	6 300	35				-	HK 4512	-	45	-	0,8			
52	16	20 500	43 000				5 100	4 500	6 300	46	56	HK 4516	BK 4516				47	0,8	
52	20	26 000	60 000				7 200	4 500	6 300	58	71	HK 4520	BK 4520				47	0,8	

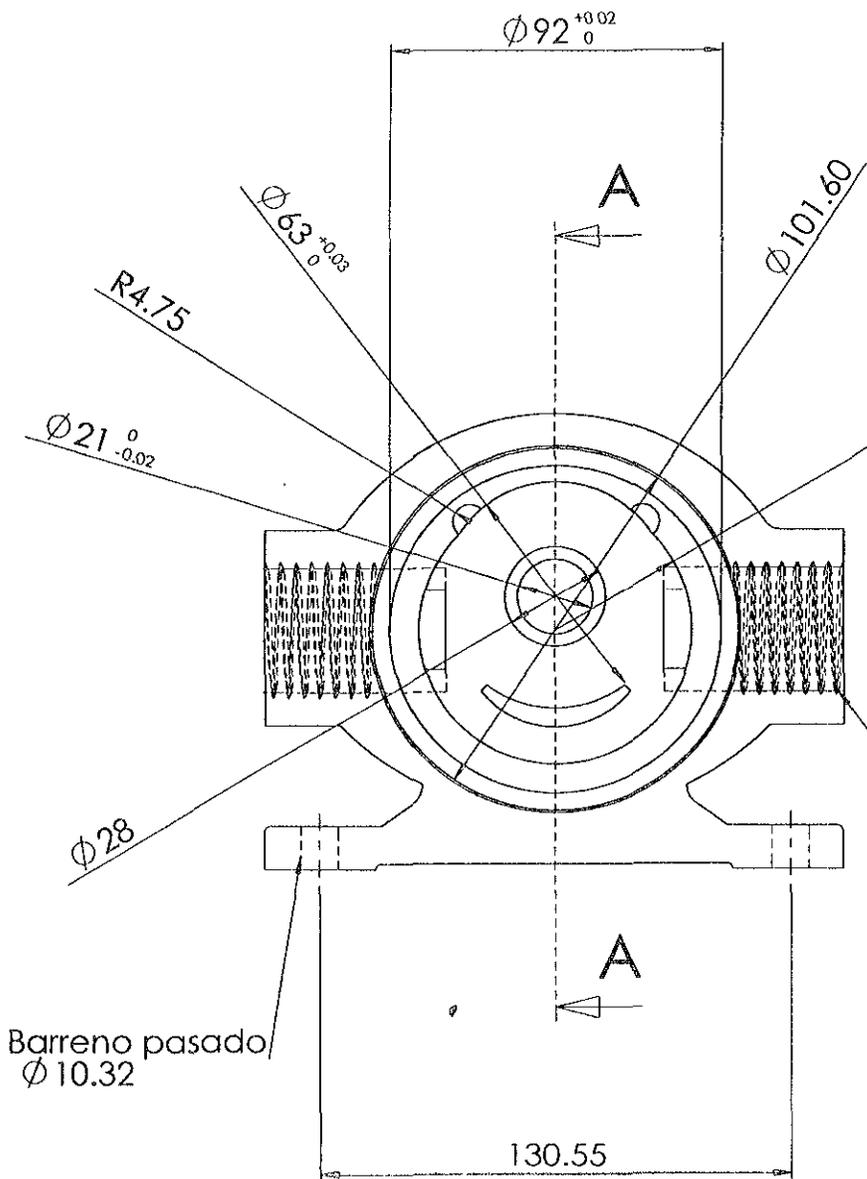
<sup>1)</sup> de dos hileras



<sup>1)</sup> Para detalles relativos a los aros

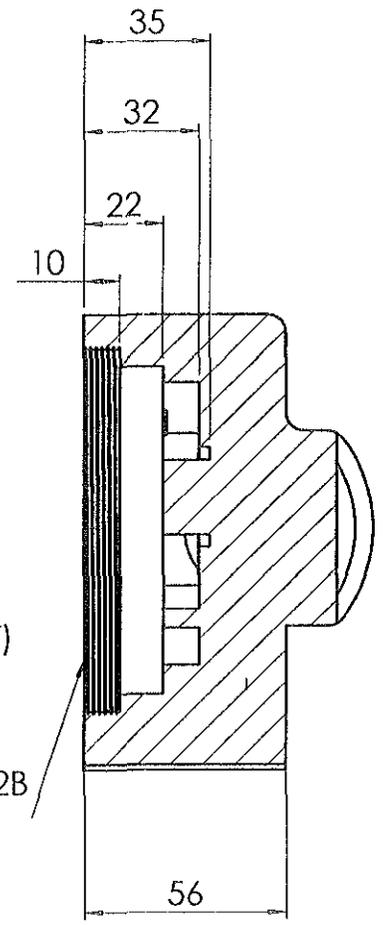






Barreno Roscado 34.80 (1" NPT)  
Prof. 45 mm

Rosca interior clase 2B  
 $\phi 101.60$   
48 HPP



PROYECTO: REDISEÑO PARA DESENSAMBLE DE UNA BOMBA TIPO ESTRELLA  
CONSIDERANDO SU CICLO DE VIDA

PIEZA: CUERPO

MATERIAL: HIERRO ASTM-48 ELABORÓ: ALEJANDRO FLORES C.

ESCALA: 1 = 2 NOTA: FUNDICIÓN

FECHA: NOV-2000 COTA: mm

cuñero 4.76 x 2.38

29

$\phi 15.87 \pm 0.05$

$\phi 17.00 \pm 0.05$

$\phi 22.00$

6 pernos espaciados  $60^\circ$

$\phi 10.32$

$\phi 65.40 \pm 0.01$

$\phi 91.50$

116

26

13

12

10

chaflan 1 x  $45^\circ$

PROYECTO: REDISEÑO PARA DEENSAMBLE DE UNA BOMBA TIPO ESTRELLA  
CONSIDERANDO SU CICLO DE VIDA

PIEZA: IMPULSOR

MATERIAL: ACERO PARA FUNDICIÓN ELABORÓ: ALEJANDRO FLORES C.

ESCALA: 1 = 2

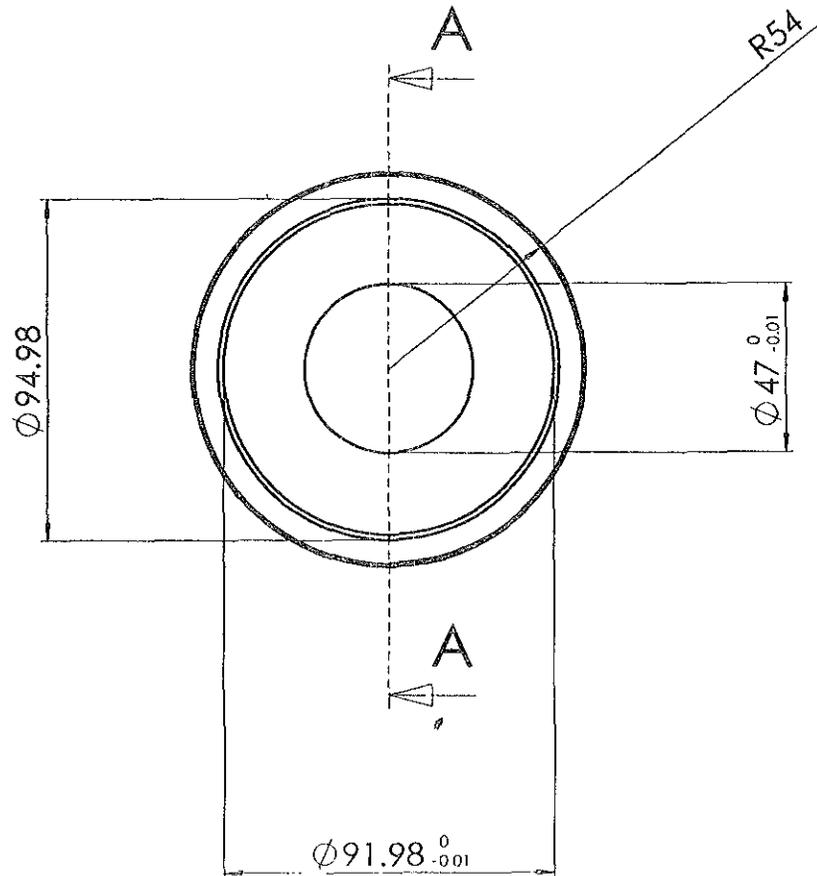
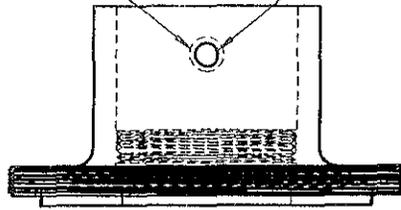
NOTA:

FECHA: NOV-2000

COTAS: mm

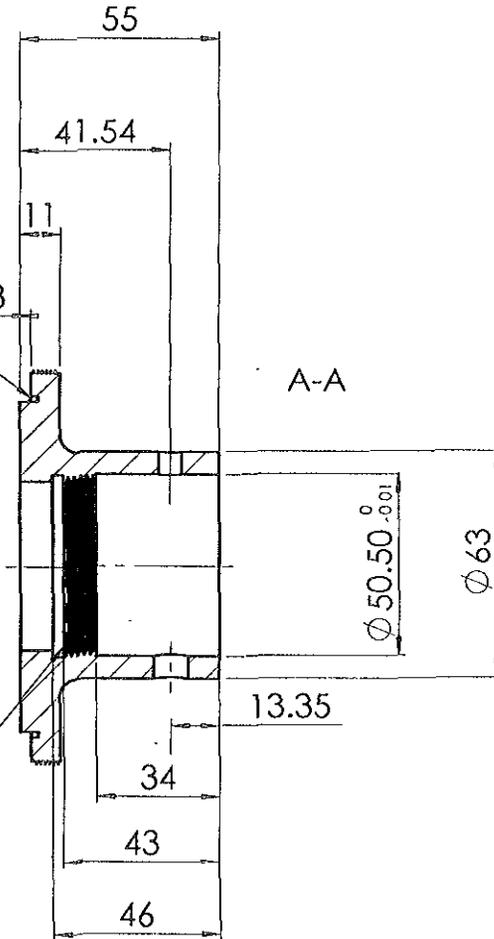
$\phi$  Pasado

$\phi 6.35$ . Pasado y machuelado para prisionero m4



1.5 ancho x 2 prof

Roscado  $\phi 49.9$   
12 HPP



PROYECTO: REDISEÑO PARA DESENSAMBLE DE UNA BOMBA TIPO ESTRELLA  
CONSIDERANDO SU CICLO DE VIDA

PIEZA: CUBIERTA

MATERIAL: HIERRO ASTM-48

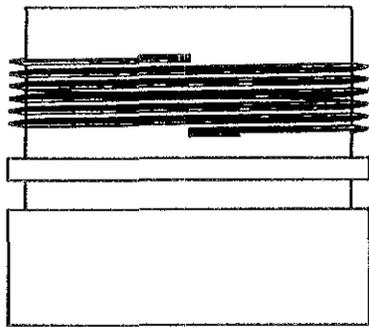
ELABORÓ: ALEJANDRO FLORES C.

ESCALA: 1 = 2

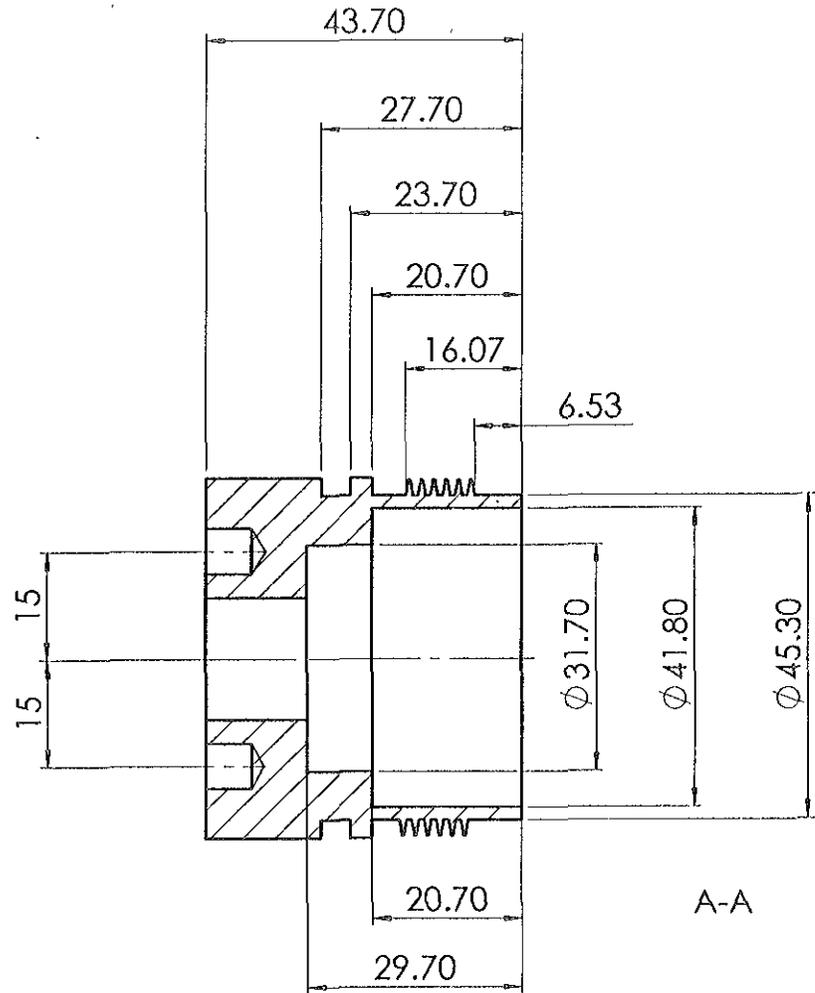
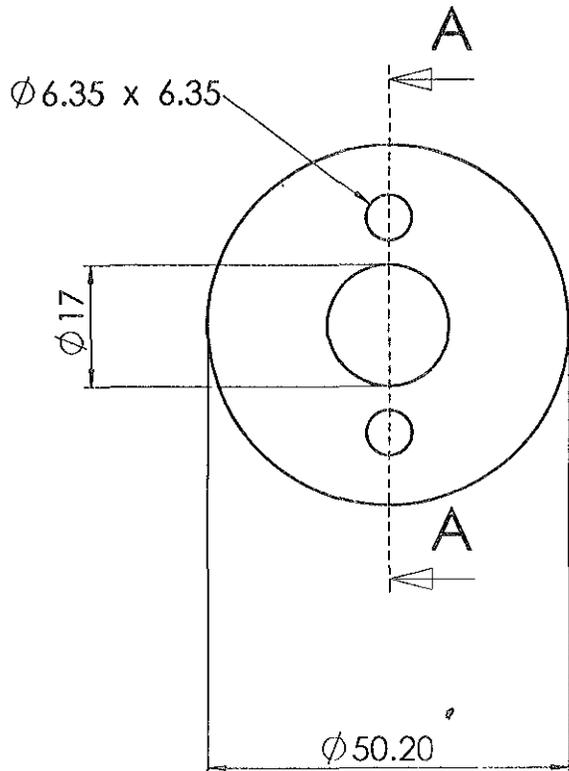
NOTA: FUNDICIÓN

FECHA: NOV-2000

COTAS: mm



Roscado  $\phi 49.9$   
12 HPP



PROYECTO: REDISEÑO PARA DESENSAMBLE DE UNA BOMBA TIPO ESTRELLA  
CONSIDERANDO SU CICLO DE VIDA

PIEZA: TORNILLO DE AJUSTE

MATERIAL: AISI - 1045

ELABORÓ: ALEJANDRO FLORES C.

ESCALA: 1 = 1

NOTA:

FECHA: NOV-2000

COTAS: mm

# NORYL<sup>®</sup> Injection Molding Grades

resin

## Over 20 Grades For The Right Properties Combination — Every Time.

The NORYL<sup>®</sup> thermoplastic resin family offers a wide combination of superior properties, for applications in computers and business equipment, automotive, electrical, electronics, construction, telecommunications, appliances and much more.

### Injection Molding Grades

Easily processed on conventional tooling with no plateout or mold corrosion, NORYL injection molding resins offer continuous use temperatures of up to 100° C and notched Izod impact strengths of up to 10 ft.-lbs./in. at 73° F. Mold shrinkage is consistent,

as little as 1-3 x 10<sup>-3</sup> in./in. The NORYL resin family of injection moldable resins includes: general purpose grades; glass reinforced grades; high strength grades and grades developed specifically for computer and business equipment applications.

Injection moldable, extrudable, foamable NORYL resins provide far more performance and processing benefits than nylon, polysulfone, SMA, metal, thermoset and others—yet demand a cubic inch price extremely competitive with these materials. A virtually infinite range of custom colors is available, expertly matched to your environment.

## Unfilled Grades

### Typical Property Values English Units (SI Units)

PROPERTY	ENG(SI) UNITS	TEST METHOD	NORYL PC180 resin	NORYL N190 resin	NORYL SE100 resin	NORYL N225 resin	NORYL 731 resin	NORYL SE1 resin	NORYL N300 resin
<b>PHYSICAL</b>									
Specific Gravity, solid	—	ASTM D 792	1.09	1.08	1.10	1.09	1.06	1.06	1.06
Water Absorption, 24 hours @ 73F (23C)	%	ASTM D 570	0.06	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.06
Mold Shrinkage, flow, 0.125" (3.2 mm)	in/in E-3(%)	ASTM D 955	5-7	5-7	5-7	5-7	5-7	5-7	5-7
<b>MECHANICAL</b>									
Tensile Strength, yield, Type I, 0.125" (3.2 mm)	psi(MPa)	ASTM D 638	7,000(50)	6,000(50)	7,800(55)	8,000(55)	9,600(65)	9,600(65)	11,000(75)
Flexural Strength, break, 0.125" (3.2 mm)	psi(MPa)	ASTM D 790	10,800(75)	8,200(55)	12,800(90)	11,000(75)	13,500(95)	13,500(95)	15,100(105)
Flexural Modulus, 0.125" (3.2 mm)	psi(MPa)	ASTM D 790	325,000(2,200)	325,000(2,200)	360,000(2,500)	345,000(2,400)	360,000(2,500)	360,000(2,500)	350,000(2,400)
Hardness, Rockwell L	—	ASTM D 785	89	—	—	—	—	—	—
Hardness, Rockwell R	—	ASTM D 785	—	115	115	116	119	119	119
<b>IMPACT</b>									
Izod Impact, notched 73F (23C)	ft-lb/in(J/m)	ASTM D 256	5.0(270)	7.0(370)	5.0(270)	6.0(320)	5.0(270)	5.0(270)	10.0(500)
Izod Impact, notched, -40F (-40C)	ft-lb/in(J/m)	ASTM D 256	1.8(100)	3.0(160)	2.5(130)	2.5(130)	2.5(130)	2.5(130)	3.2(170)
Gardner Impact, 73F (23C)	ft-lbs(J)	ASTM D 3029	—	17(23)	19(26)	13(18)	19(26)	11(15)	—
Gardner Impact, -20F (-29C)	ft-lbs(J)	ASTM D 3029	12(16)	—	—	—	—	—	25(34)
Gardner Impact, -40F (-40C)	ft-lbs(J)	ASTM D 3029	—	8(11)	5(7)	6(8)	4(5)	3(4)	—
<b>THERMAL</b>									
DTUL, 66 psi (0.45 MPa), 0.250" (6.35 mm)	deg F(deg C)	ASTM D 648	200(93)	205(96)	230(110)	245(118)	279(137)	279(137)	315(157)
DTUL, 264 psi (1.82 MPa), 0.250" (6.4 mm)	deg F(deg C)	ASTM D 648	180(82)	190(88)	212(100)	225(107)	265(129)	265(129)	300(148)
CTE, flow X E-S, -40F to 140F (-40C to 60C)	in/in-F(m/m-C)	ASTM E 831	3.1(5.6)	4.0(7.2)	3.8(6.8)	3.8(6.8)	3.3(5.9)	3.3(5.9)	3.0(5.4)
Thermal Index, Elec Prop	deg C	UL 746B	50	95	95	95	105	110	105
Thermal Index, Mech Prop with impact	deg C	UL 746B	50	80	80	80	90	105	105
Thermal Index, Mech prop without impact	deg C	UL 746B	50	95	95	95	105	110	105
<b>ELECTRICAL</b>									
Dielectric Strength, in air, 125 mils (3.2 mm)	V/mil(kV/mm)	ASTM D 149	495(19)	630(25)	400(16)	630(25)	550(22)	500(20)	508(20)
Dielectric Constant, 60 Hz	—	ASTM D 150	2.74	2.78	2.65	2.79	2.65	2.69	2.69
Dissipation Factor, 60 Hz	—	ASTM D 150	0.0043	0.0046	0.0007	0.0031	0.0004	0.0007	0.003
<b>FLAME CLASS RATING*</b>									
94HB Flame Class Rating	in(mm)	UL 94	—	—	—	—	.058(1.50)	—	—
94V-2 Flame Class Rating	in(mm)	UL 94	0.062(1.60)	—	—	—	—	—	—
94V-1 Flame Class Rating	in(mm)	UL 94	0.125(3.20)	—	0.060(1.50)	—	—	0.058(1.50)	—
94V-0 Flame Class Rating	in(mm)	UL 94	—	0.058(1.50)	0.240(6.10)	0.060(1.5)	—	0.240(6.10)	0.061(1.5)
94-5V Flame Class Rating	in(mm)	UL 94	0.150(3.80)	0.120(3.00)	—	0.126(3.2)	—	—	—

\* This rating is not intended to reflect hazards presented by this or any other material under actual fire conditions.

# Injection Molding Grades

# NORYL<sup>®</sup>

resin

## Reinforced Grades

### Typical Property Values English Units (SI Units)

PROPERTY	ENG(SI) UNITS	TEST METHOD	NORYL GFN2 resin	NORYL GFN3 resin	NORYL SE1GFN2 resin	NORYL SE1GFN3 resin	NORYL HS1000 resin	NORYL HS2000 resin
<b>PHYSICAL</b>								
Specific Gravity, solid	—	ASTM D 792	1.21	1.27	1.30	1.36	1.25	1.24
Water Absorption, 24 hours @ 73F (23C)	%	ASTM D 570	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07
Mold Shrinkage, flow, 0.125" (3.2 mm)	in/in E-3	ASTM D 955	2-4	1-3	2-4	1-3	5-7	5-7
<b>MECHANICAL</b>								
Tensile Strength, yield, Type I, 0.125" (3.2 mm)	psi(MPa)	ASTM D 638	14,500(100)	17,000(120)	14,500(100)	17,800(125)	9,500(65)	11,000(75)
Tensile Strength, break, 0.125" (3.2 mm)	psi(MPa)	ASTM D 790	18,500(125)	20,000(140)	18,500(125)	20,000(140)	14,000(95)	16,000(110)
Charact. Modulus, 0.125" (3.2 mm)	psi(MPa)	ASTM D 790	750,000(5,200)	1,100,000(7,600)	750,000(5,200)	1,100,000(7,600)	425,000(2,900)	500,000(3,400)
Modulus, Swell L	—	ASTM D 785	106	108	106	108	—	—
Modulus, Rockwell R	—	ASTM D 785	—	—	—	—	121	121
<b>IMPACT</b>								
Charpy Impact, notched 73F (23C)	ft-lb/in(J/m)	ASTM D 256	2.3(120)	2.3(120)	2.3(120)	2.3(120)	3.5(190)	3.5(190)
Charpy Impact, notched, -40F (-40C)	ft-lb/in(J/m)	ASTM D 256	1.8(95)	1.8(95)	1.8(95)	1.8(95)	1.5(80)	1.5(80)
Izod Impact, 73F (23C)	ft-lbs(J)	ASTM D 3029	—	—	—	—	21(28)	21(28)
Izod Impact, -40F (-40C)	ft-lbs(J)	ASTM D 3029	—	—	—	—	3(4)	3(4)
<b>THERMAL</b>								
T <sub>g</sub> , UL 66 psi (0.45 MPa), 0.250" (6.4 mm)	deg F(deg C)	ASTM D 648	293(145)	317(158)	280(138)	285(140)	203(95)	250(121)
T <sub>g</sub> , UL 264 psi (1.82 MPa), 0.250" (6.4 mm)	deg F(deg C)	ASTM D 648	290(143)	300(149)	270(132)	275(135)	190(88)	230(110)
T <sub>g</sub> , flow X E-5, -40F to 140F (-40C to 60C)	in/in-F(m/m-C)	ASTM E 831	2.0(3.6)	1.4(2.5)	2.0(3.6)	1.4(2.5)	3.0(5.4)	2.5(4.5)
Thermal Index, Elec Prop	deg C	UL 746B	90	90	110	110	100	100
Thermal Index, Mech Prop with impact	deg C	UL 746B	90	90	105	105	85	85
Thermal Index, Mech prop without impact	deg C	UL 746B	90	90	110	110	100	100
<b>ELECTRICAL</b>								
Dielectric Strength, in air, 125 mils (3.2 mm)	V/mil(kV/mm)	ASTM D 149	420(16)	550(22)	600(24)	530(21)	420(16)	490(19)
Dielectric Constant, 60 Hz	—	ASTM D 150	2.86	2.93	2.98	3.15	3.00	3.00
Dissipation Factor, 60 Hz	—	ASTM D 150	0.0008	0.0009	0.0016	0.0020	0.0047	0.0047
<b>FLAME CLASS RATING*</b>								
UL 94 Flame Class Rating	in(mm)	UL 94	0.058(1.47)	0.058(1.47)	—	—	—	—
UL 94 Flame Class Rating	in(mm)	UL 94	—	—	0.030(0.76)	0.030(0.76)	—	—
UL 94 Flame Class Rating	in(mm)	UL 94	—	—	0.240(6.10)	0.240(6.10)	0.062(1.57)	0.062(1.57)
UL 94 Flame Class Rating	in(mm)	UL 94	—	—	—	—	0.100(2.50)	0.078(2.00)

\*Rating is not intended to reflect hazards presented by this or any other material under actual fire conditions.