

# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD TICOMÁN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO EN AERONÁUTICA  
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN: CURRICULAR  
DEBERÁ PRESENTAR: LOS CC. PASANTES:  
**BAEZ MONTES MANUEL**  
**GARCÍA DOMÍNGUEZ FRANCYS EDUARDO**

**“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA HERRAMIENTA ESPECIAL PARA LA EXTRACCIÓN DE LOS RODAMIENTOS DE LA MARCHA GENERADORA DEL MOTOR ARRIEL 1-B”**

	LISTA DE FIGURAS
	LISTA DE TABLAS
	OBJETIVO
	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
	ALCANCE
	JUSTIFICACIÓN
	RESUMEN
	INTRODUCCIÓN
	QFD
CAPÍTULO I	DISEÑO CONCEPTUAL
CAPÍTULO II	DISEÑO DE DETALLE
CAPÍTULO III	PRUEBAS Y RESULTADOS
CAPÍTULO IV	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
CAPÍTULO V	REFERENCIAS
	ANEXOS

México, DF., a 01 de septiembre de 2009.

### A S E S O R E S

  
ING. RUBÉN OBREGÓN SUÁREZ

  
M. EN C. JUAN MANUEL DÍAZ SALCEDO

  
M. EN C. ERIK VARGAS ROJAS

Vo. Bo.

  
ING. MIGUEL ÁLVAREZ MONTALVO I. P. N.  
DIRECTOR



ESCUELA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIDAD TICOMÁN  
DIRECCIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

---

---



Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Unidad Profesional Ticomán

Ingeniería Aeronáutica

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LA HERRAMIENTA ESPECIAL PARA LA EXTRACCIÓN DE

RODAMIENTOS PARA LA MARCHA GENERADORA

DEL MOTOR ARRIEL 1-B

T E S I N A

PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO AERONÁUTICO

CON ESPECIALIDAD EN

Diseño y Construcción de Aeronaves

PRESENTAN:

BAEZ MONTES MANUEL

GARCÍA DOMÍNGUEZ FRANCYS EDUARDO

ASESORES:

OBREGÓN SUÁREZ RUBÉN

DÍAZ SALCEDO JUAN MANUEL

VARGAS ROJAS ERIK



AGOSTO 2009

## Agradecimientos

---

Al Instituto Politécnico Nacional, a la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Profesional Ticoman por haberse convertido nuestra segunda casa y habernos formado no solo como ingenieros, sino también como personas y como seres humanos.

A nuestros asesores:

Por su apoyo y sus valiosos comentarios durante la elaboración de este trabajo, por su confianza y sobre todo por su amistad. En especial a Rubén Obregón Suárez porque sin su apoyo no se hubiese podido realizar este trabajo.

Al laboratorio de procesos de manufactura:

Al personal encargado del laboratorio procesos de manufactura el cual proporciono las maquinas, herramientas y la información necesaria correspondiente para la manufactura.

A nuestros compañeros:

Por habernos brindado su amistad y compañerismo durante nuestra formación profesional en esta casa de estudios.

A nuestros profesores:

Por su conocimiento brindado, y habernos demostrado que el aprendizaje nos hace mejores personas.

A nuestros padres:

Primeramente por habernos dado la vida, por todo su apoyo y confianza. Por su sacrificio para convertirnos en mejores personas.

# INDICE

	Página
<b>Lista de figuras</b>	<b>VI</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>VII</b>
<b>Objetivo</b>	<b>X</b>
<b>Planteamiento del problema</b>	<b>X</b>
<b>Alcance</b>	<b>X</b>
<b>Justificación</b>	<b>XI</b>
<b>Resumen</b>	<b>XI</b>
<b>CAPÍTULO 1 (Introducción)</b>	<b>1</b>
1 Antecedentes	2
1-1 Planta motriz	3
1-2 Marcha generadora	4
1-3 Rodamientos	5
1-4 Herramienta	7
1-5 Mantenimiento de la marcha generadora	8
<b>CAPÍTULO 2 (QFD)</b>	<b>10</b>
2 Introducción	11
2-1 QFD (Despliegue de Función Calidad)	12
2-1.1 Metodología del QFD (seis pasos del QFD)	12



2-2	Aplicación del QFD para el diseño y fabricación de la herramienta para la extracción de rodamientos para la marcha generadora	24
<b>CAPÍTULO 3 (Diseño conceptual)</b>		<b>35</b>
3-1	Metodología del diseño conceptual	36
3-2	Clarificación de los requerimientos del cliente	37
	3-2.1 Función global del servicio del producto	37
	3-2.2 Limites del sistema	40
	3-2.3 Funciones técnicas	43
3-3	Definición del modelo funcional	44
	3-3.1 Análisis funcional descendente	45
	3-3.2 Principios de representación	45
3-4	Generación de conceptos	46
	3-4.1 Matrices morfológicas	47
3-5	Evaluación de conceptos	50
	3-5.1 Evaluación basada en factibilidad del concepto	50
3-6	Aplicación de la metodología del diseño conceptual para la herramienta de extracción de la marcha generadora	52
	3-6.1 Clarificación de los requerimientos del cliente	52
	3-6.2 Función global de servicio del producto	53
3-7	Limites del sistema	53
	3-7.1 Funciones técnicas	55
	3-7.2 Análisis funcional descendente	56
3-8	Generación de conceptos (matrices morfológicas)	57
3-9	Evaluación de conceptos	61

<b>CAPÍTULO 4 (Diseño de detalle)</b>	<b>63</b>
4-1 Cálculo de la carga en el rodamiento	65
4-1.1 Esfuerzos debidos a los ajustes por interferencia	65
4-1.2 Ajustes de fuerza	68
4-1.3 Interferencia en el rodamiento (cálculos)	69
4-2 Elemento finito	71
4-2.1 Análisis por elemento finito	73
4-3 Modificaciones de la herramienta extractora	80
4-4 Planos	82
4-4.1 Sección A (Herramienta base)	83
4-4.2 Sección B (Herramienta re-diseñada)	91
4-5 Hoja de proceso	99
<b>CAPÍTULO 5 (Pruebas y resultados)</b>	<b>106</b>
5-1 Pruebas	107
5-2 Resultados	108
<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>109</b>
<b>Referencias</b>	<b>110</b>
<b>Anexos</b>	<b>111</b>

# LISTA DE FIGURAS

## CAPÍTULO 1

Figura 1.1 Helicóptero (AS-350 B3 Ecureuil)

Figura 1.2 Motor del helicóptero AS-350

Figura 1.3 Marcha Generadora del helicóptero AS-350

Figura 1.4 Corte lateral de la marcha generadora

Figura 1.5 Explosión de la marcha generadora

Figura 1.6 Herramienta de extracción de rodamientos

## CAPÍTULO 2

Figura 2.1 Los seis pasos del QFD

Figura 2.2 Separación de requerimientos en obligatorios y deseables

Figura 2.3 Ejemplo de ponderación de requerimientos

Figura 2.4 Segunda parte de la construcción del gráfico de despliegue de funciones calidad

Figura 2.5 Herramienta extractora (cortesía de Cóndores)

Figura 2.6 Herramienta proporcionada por el laboratorio de Térmica, ESIME U.P. Ticoman

## CAPÍTULO 3

Figura 3.1 Modelo de una función mecánica

Figura 3.2 Función como flujo de energía

Figura 3.3 Función como flujo conservativo de materia

Figura 3.4 Función como flujo divergente de material

Figura 3.5 Función como flujo convergente de material

Figura 3.6 Entorno y límites del sistema

Figura 3.7 El sistema como caja negra

Figura 3.8 Las funciones técnicas ocurren en el interior del sistema

Figura 3.9 Ejemplo de una caja con sus flechas

Figura 3.10 Función general del sistema

Figura 3.11 Límites del sistema

Figura 3.12 Función general del sistema

Figura 3.13 Función global de operación

Figura 3.14 Descomposición descendente

Figura 3.15 Matriz morfológica

Figura 3.16 Selección de formas

## CAPITULO 4

FIGURA 4.1 Diámetros del ajuste con rodamiento en la marcha generadora

FIGURA 4.2 Estudio de tensiones

FIGURA 4.3 Estudio de desplazamientos

FIGURA 4.4 Deformaciones unitarias

# LISTA DE TABLAS

## CAPITULO 1

Tabla 1.1 Características generales (AS 350)

Tabla 1.2 Rendimiento (AS 350)

Tabla 1.3 Datos técnicos Turbomeca Arriel 1B

Tabla 1.4 Dimensiones generales

## CAPITULO 2

Tabla 2.1 Agrupación de requerimientos

Tabla 2.2 Agrupación general de los requerimientos

Tabla 2.3 Requerimientos abreviados

Tabla 2.4 Ponderación de requerimientos deseables

Tabla 2.5 Estudio comparativo (Benchmarking)

Tabla 2.6 Traducción de los requerimientos en términos medibles

Tabla 2.7 Metas de diseño

## CAPÍTULO 3

Tabla 3.1 Formas distintas obtenidas

Tabla 3.2 Ejemplo de matriz morfológica para montacargas

Tabla 3.3 Funciones de servicio

## CAPITULO 4

TABLA 4.1 Superficie de los diámetros

TABLA 4.2 Superficie en los elementos

TABLA 4.3 Interferencias del tipo de ajuste con prensa

TABLA 4.4 Coeficiente de rozamiento estático y cinético

TABLA 4.5 Unidades empleadas para el análisis por elemento finito

TABLA 4.6 Propiedades del material

TABLA 4.7 Fuerzas de reacción

TABLA 7.8 Resultados de estudio

## OBJETIVO

Diseñar y fabricar la herramienta de extracción de los rodamientos de la marcha generadora del motor Arriel 1-B, del helicóptero AS 350 Écureuil, para la realización de prácticas e inspección.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

No se cuenta con herramientas especiales en ESIME U.P. Ticomán para la realización de las prácticas en el motor Arriel 1-B del helicóptero AS 350 Écureuil, ya que estas son solamente de importación y de costo excesivo.

La propuesta que se plantea es el diseño y fabricación de una herramienta especial para la extracción de los rodamientos de la marcha generadora del motor Arriel 1-B del helicóptero AS 350 Écureuil.

## ALCANCE

El sistema de extracción original contempla la extracción de diferentes rodamientos, según las diferentes marchas generadoras.

Dado que en la escuela solo se cuenta con el helicóptero AS 350 Écureuil el cual solo cuenta con un tipo de marcha generadora, el problema se limita a obtener únicamente la solución para la extracción del rodamiento de la marcha generadora del motor Arriel 1 B .

El desarrollo de este proyecto incluye el análisis con QFD, modelado en Mechanical Desktop, análisis de zonas funcionales, determinación de propiedades mecánicas, análisis por elemento finito y fabricación.

## JUSTIFICACIÓN

Actualmente no se cuenta con prácticamente ningún tipo de herramienta para la inspección y mantenimiento del helicóptero AS 350 Ecureuil, específicamente el costo del extractor de rodamientos es alto y es de importación. ESIME U.P. Ticomán no cuenta con los recursos suficientes para poder adquirirla.

Al diseñar y fabricar este tipo de herramienta, se está iniciando la integración de un laboratorio de mantenimiento del helicóptero AS 350 Écureuil. La herramienta propuesta es parte de otras varias que son requeridas,. Como son: gancho para extracción de escobillas, extractor de compresor radial, verificador de torcimiento en alabes de compresor, etc. por mencionar algunas.

## RESUMEN

En el presente trabajo se trata el diseño y la fabricación de una herramienta especial para la extracción de rodamientos de la marcha generadora del motor Arriel 1B para el helicóptero AS 350 Écureuil con la siguiente metodología:

- Antecedentes.
- QFD (Despliegue de la Función Calidad).
- Diseño conceptual.
- Cálculos del ajuste entre rodamiento y flecha de la marcha.
- Modelado de la herramienta extractora.
- Análisis de las zonas funcionales por elemento finito.
- Planos del diseño de la herramienta extractora.
- Hoja de proceso.
- Fabricación de la herramienta extractora.



# CAPÍTULO 1

## Introducción

---



El Helicóptero AS 350 Écureuil (Ardilla) (figura 1.1), es fabricado por Eurocopter, empresa de firma Alemana y Francesa, es el helicóptero civil de fabricación Europea más exitoso [1]. Se utiliza en una amplia gama de operaciones militares y civiles alrededor del mundo entero. En Norteamérica se conoce como el AStar.

La fabricación del Écureuil fue iniciada por Aérospatiale con el desarrollo del AS 350 a principios de la década de los 70 y culminó con los primeros vuelos del prototipo equipado con la turbina Avco Lycoming LTS-101 el 27 de junio de 1974. El primer vuelo del prototipo equipado con la turbina Turbomeca Arriel 1B fue el 14 de febrero de 1975. Este helicóptero fue diseñado para sustituir al Alouette. La certificación se le adjudicó en octubre de 1977.

<b>Tabla 1.1 Características generales (AS 350)</b>	
Tripulación	1 pasajero
Capacidad	5 pasajeros
Longitud	12.94 metros
Diámetro rotor principal	10.69 metros
Altura	3.14 metros
Área circular	89,75 m <sup>2</sup>
Peso vacío	1.175 kg
Peso máximo de despegue	2.250 kg
Planta motriz: 1× turboshaft Turbomeca Arriel 1B,	632 kW (847 SHP)

<b>Tabla 1.2 Rendimiento (AS 350)</b>	
Velocidad nunca a exceder (VNE)	155 nudos (287 km/hora)
Velocidad crucero (Vc)	140 nudos (259 km/hora)
Alcance en vuelo	352 MN (652 km)
Techo de servicio	17.323 pies (5.280 m)
Razón de ascenso	2.028 (pies/min)



Figura 1.1 Helicóptero (AS-350 B3 Ecureuil)

## 1-1 | Planta motriz

Este helicóptero cuenta con una planta motriz turboshaft Turbomeca Arriel 1B con las siguientes características mostradas en la tabla 1.3. [2]

Tabla 1.3 Datos técnicos Turbomeca Arriel 1B	
	<b>AS350 BA</b>
	
Turbina	Turbomeca Arriel 1B
Potencia	máx. 641 hp
Deposito de Keroseno	540 l
Consumo de Keroseno	150 l/hrs
Peso en vacío	1.200 kg
Máx. Peso despegue (carga interior)	2.100 kg
Máx. Peso despegue (carga exterior)	2.250 kg

## 1-2 | Marcha generadora

El motor Arriel 1 B cuenta con una marcha generadora, marca APC con número de parte (150SG122). En la figura 1.2 se muestra el detalle de la estación donde se ubica la marcha generadora en el motor y en la aeronave.

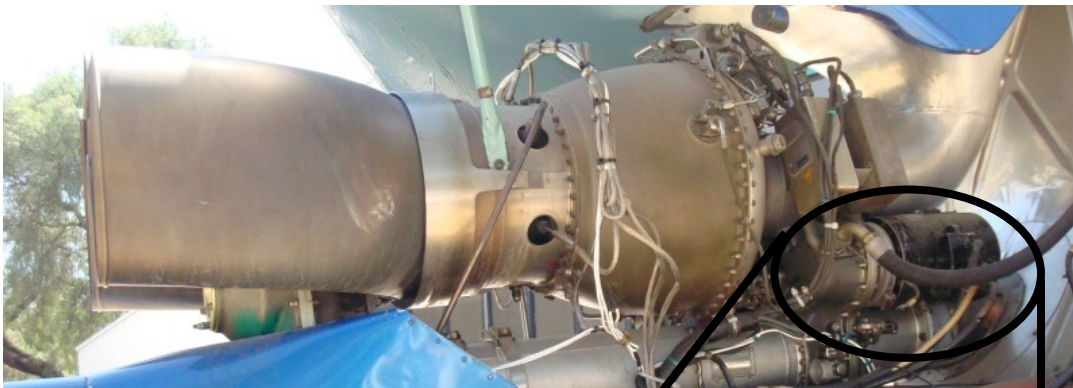


Figura 1.2 Motor del helicóptero AS-350

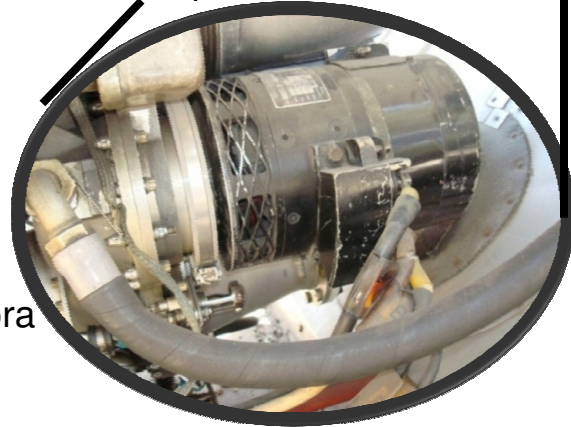


Figura 1.3 Marcha Generadora del helicóptero AS-350

En la figura 1.4 se muestra el corte lateral de la marcha generadora.

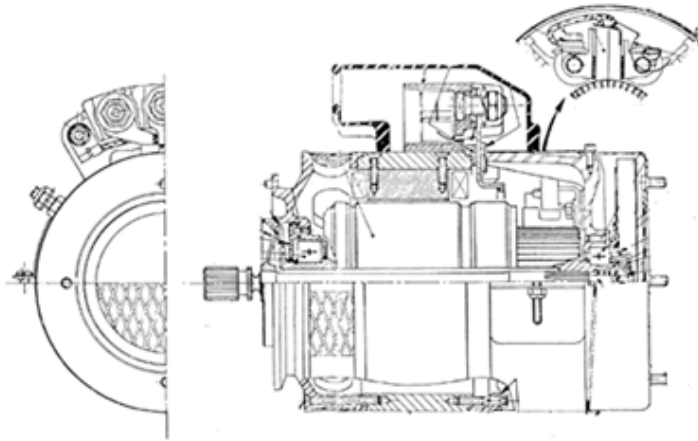


Figura 1.4 Corte lateral de la marcha generadora

### 1-3 | Rodamientos

La marcha generadora cuenta con dos rodamientos con las siguientes características:

- Rodamiento de bolas
- Diámetro externo: 1 5/8"
- Diámetro interno: 0.669"
- Altura: 5/8"

La equivalencia del rodamiento en SKF es **rodamiento rígido de una hilera de bolas 6203**, ver tabla en el ANEXO A.

En la figura 1.5 se muestra la explosión de la marcha generadora, indicando los rodamientos que necesitan ser removidos para su emplazamiento [3].



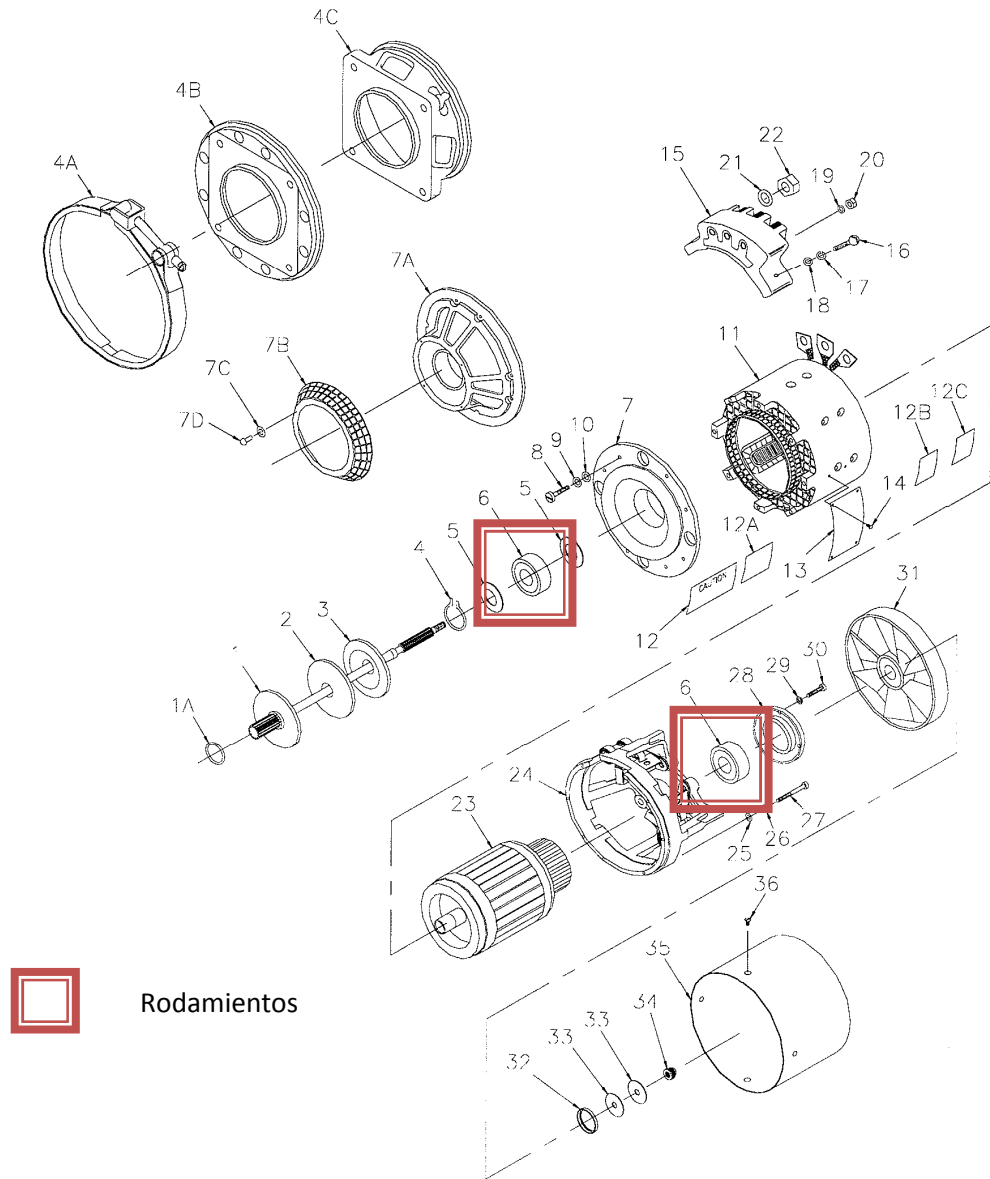


Figura 1.5 Explosión de la marcha generadora

## 1-4 Herramienta

La herramienta utilizada para la extracción de los rodamientos mostrada en la figura 1.6 (Cortesía de Cóndores) [4]. Es usada por Cóndores la misma compañía que donó el helicóptero AS 350 Écureuil al Instituto Politécnico Nacional.



Figura 1.6 Herramienta de extracción de rodamientos

Tabla 1.4 Dimensiones generales

Extractor de rodamientos de dos brazos (Verificación Metrológica)	
Largo	26.75 cm
Ancho	13.3 cm
Espesor	3.2 cm

## 1-5 | Mantenimiento de la marcha generadora

A continuación se muestran los pasos a seguir para la extracción de los rodamientos y el mantenimiento de la marcha-generadora, traducidos del manual de componentes eléctricos.

### INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO II

1-1 HERRAMIENTAS ESPECIALES.

1-2 HERRAMIENTAS ESPECIALES Y EQUIPOS DE PRUEBA

1-3 DESARMADO

1-4 GENERAL

- a. Desarmado de la marcha generadora como se muestra en la lista de partes (Figura 1.5 y 1.6).

1-5 ENSAMBLE GENERAL (Ref. a IPL Figura 1.5)

- a. Remover la cubierta del ventilador. (35) Retirar los muelles de las escobillas (2) (figura 1-4) y remover y desechar las escobillas (11).
- b. Sujetar el impulsor y el final de la flecha impulsora del ensamble (1) usando una SPLINE WRENCH. Remover la tuerca de seguridad (34), muelles (33) y el fan (31). Remover la flecha de impulsión.
- c. Retirar por detrás el plato amortiguador (8) usando un extractor de engranes, teniendo mucho cuidado en prevenir daños en la punta de la flecha por el extractor de engranes.
- d. Remover ocho tornillos (8) y rondanas (9), (10). Remover el impulsor y la carcasa (7).
- e. Remover ocho tornillos (27), rondanas e seguridad (26) y rondanas (25). Remover el conmutador y la carcasa del ensamble (24) con la armadura


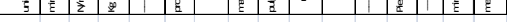
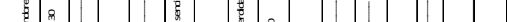


ensamblada. Empujar la armadura hacia afuera (23) usando convenientemente un empujador para proteger el final de la flecha.

- f. Usando un extractor de rodamientos, remover los rodamientos de bola (6) del la armadura del generador. Remover 4 tronillos (30) y las rondanas de seguridad (29). Remover los retenes de los rodamientos (28). Retirar el rodamiento de bola fuera del conmutador (24). No desarme el conmutador no es necesario.
- g. No se desarme el estator. Remover las terminales del bloque (15), remover las tuercas (22) (20) y rondanas (21) (19) de la terminal del bloque, remover tornillos (16) y rondanas (17) (18). Después remover la terminal del bloque [3].

# CAPÍTULO 2

## QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT

GRUPO	Ref.	REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE	Ir (%)	Análisis QFD herramienta de extracción												Benchmarking	Valor	unidad			
				requerimiento de durabilidad	tiempo de colocación	resistencia	peso mínimo permitido	que resista a la corrosión	disponibilidad comercial de los procesos de maquinado	disponibilidad comercial del herramienta de corte, u.l.l.l	disponibilidad comercial de los tornillos seleccionados	disponibilidad comercial de herramientas de medición	El ensamble de la herramienta debe ser sencillo	costo de repuestos	disponibilidad de materiales requeridos				disponibilidad de tornillos estándar	uso adecuado	tiempo de selección de material
<b>Desempeño función</b>	1 (A1)	facil y rapida colocacion	9.09	9																	
	2 (A2)	rigidez y resistencia	*			9															
	3 (A3)	ligera	9.09			9															
<b>Manufatura</b>	4 (A4)	resistente a la corrosión	*	1	9																
	5 (B1)	geometrias simples	12.12								9										
	6 (B2)	herramientas de corte	9.09													9			no es sencilla	No es sencilla	proceso
	7 (B3)	remocion minima	15.15									9							Forja	Fundición	material
	8 (B4)	verificación dimensional	3.03																Sin perdida	Sin perdida	pulgadas
<b>Económicos</b>	9 (B5)	ensamble sencillo	12.12																1/1000	1/1000	
	10 (C1)	repuestos economicos	0.00																20	40	Min
	11 (C2)	materiales comerciales	*									9							\$	\$	\$
<b>Seguridad</b>	12 (C3)	tornillos comerciales	*									9									
	13 (D1)	operación segura	*												9						
<b>Conservación</b>	14 (E1)	facil de reparar	9.09				9												3	6	Piezas
	15 (F1)	tiempo de fabricacion	21.21													9			30	30	min
<b>Restricciones de tiempo</b>																			2 a 3	2 a 3	Meses
<b>suma</b>				100																	
																					
																					
																					

Requerimientos obligatorios *	fuerte relacion	9
grado de importancia en objetivos	mediana relacion	5
	poca relacion	1
	1	↑
	2	→
puntos importantes en el diseño	3	↓
	4	↔

## Introducción

La siguiente información relacionada con el despliegue de las funciones de calidad se toma de la referencia [5].

### DESPLIEGUE DE LAS FUNCIONES DE CALIDAD:

El despliegue de funciones de calidad (QFD) es una metodología que tiene como objetivo integrar los requerimientos y expectativas de los clientes al proceso de diseño.

En octubre de 1983, Yoji Akao [6] uno de sus creadores, introdujo el QFD en Estados Unidos de Norteamérica en un breve artículo que apareció en Quality Progress, revista mensual American Society for Quality Control, desde entonces se ha venido consolidando en la industria norteamericana como la metodología más poderosa para poner en relieve los requerimientos de calidad del producto.

Aunque el enfoque más difundido del QFD se refieren al proceso del diseño, esta metodología trasciende a todas las etapas del desarrollo del producto: diseño, producción, control.

### *¿Qué son las funciones de calidad?*

Las funciones de calidad son todas las actividades que contribuyen al diseño y fabricación de un producto o un servicio con excelentes prestaciones.

## 2-1 || QFD (Despliegue de Función Calidad)

El objetivo primordial del QFD es la mejora de la calidad de los productos, por lo que algunos aspectos esenciales del QFD pueden señalarse como:

- El QFD es una metodología para planificar el proceso de diseño que eslabona al cliente con las empresas.
- Los datos iniciales del proceso de diseño son los requerimientos y expectativas de los clientes. Esto significa escuchar la voz del cliente.
- Los requerimientos y expectativas de los clientes deben traducirse en metas de diseño plenamente mensurables.
- El QFD utiliza gráficos para desplegar información relevante.
- El QFD permite identificar las herramientas de diseño apropiadas al problema en el proceso de solución.

### 2-1-1 || Metodología del QFD

La metodología del QFD consiste en seis pasos mostrados en la figura 2.1.

A continuación se explica brevemente los aspectos más relevantes de los pasos que se emplean en esta metodología.

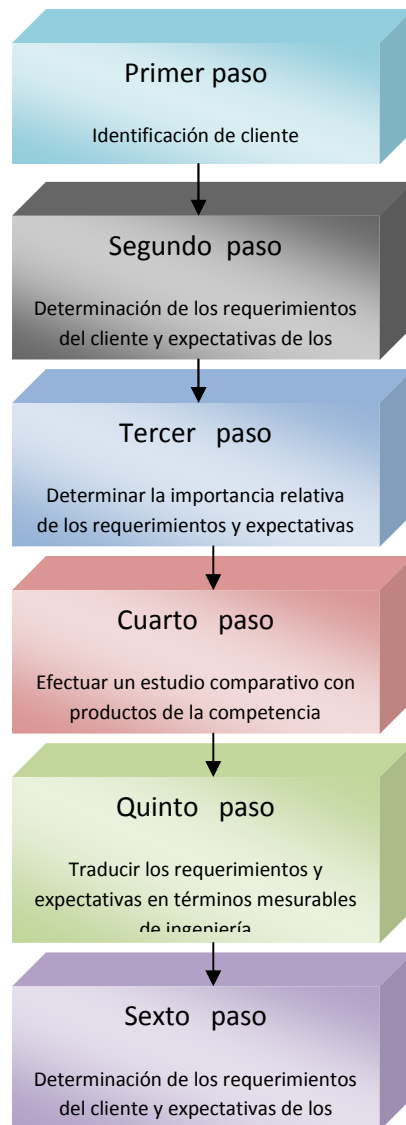


Figura 2.1 Los seis pasos del QFD

## PRIMER PASO. Identificación del cliente

Para Juran [7], Un cliente es “todo aquel que sea impactado por el producto o por el proceso”.

Los clientes se clasifican de la siguiente manera:

- Clientes externos
- Clientes internos

Clientes externos:

Son impactados por el producto pero no son miembros de la compañía que lo produce. Los clientes externos incluyen a quienes compran el producto, instituciones gubernamentales, y al público en general.

Cliente interno:

Son impactados por el proceso y también son miembros de la compañía que lo produce. En general se les considera como clientes aunque no corresponden exactamente al sentido literal de la palabra cliente.

## **SEGUNDO PASO. Determinación de los requerimientos y expectativas del cliente**

Una vez identificados los clientes del proyecto, el siguiente paso consiste en determinar cuáles son sus requerimientos y expectativas para saber qué es lo que se debería diseñar.

Es previsible que el cliente-consumidor desee entre otras cosas que el producto funcione correctamente, que sea durable, que su mantenimiento sea fácil, que se vea atractivo, que tenga incorporada a las últimas tecnologías, y que ofrezcan muchas características, además que su precio sea correcto.

El cliente productor desea normalmente que el producto sea fácil de fabricar y ensamblar que las tolerancias de fabricación sean las más amplias posibles, que los medios de producción necesarios (mano de obra, maquinaria, equipo y materiales), que se puedan utilizar las instalaciones existentes y los procesos de fabricación ya dominados. Que produzca el mínimo de desperdicio y rechazo de producción. Que no involucre materiales y procesos que causen problemas ante las leyes ambientales.

El cliente comercializador espera que el producto tenga gran aceptación en el mercado, que cumpla todos los requerimientos de los clientes, que se vea atractivo que se pueda empacar, transportar, almacenar, y exhibir fácilmente.

El cliente-patrocinador espera que el producto se convierta en un gran negocio que le reporte utilidades elevadas. Que no tenga que invertir fuertes sumas de dinero y que por lo contrario, pueda obtener altos ingresos. Que el producto logre permanecer por largo tiempo en el mercado. Que el lapso de desarrollo del producto sea breve.

Desempeño funcional de la herramienta extractora de rodamientos de la marcha generadora:

- Debe ser fácil y rápida su colocación para la extracción del rodamiento.
- La herramienta debe poseer rigidez y resistencia suficiente para poder extraer el rodamiento.
- La herramienta debe ser lo más ligera posible.
- Que resista a la corrosión.

Manufactura

- Las formas geométricas deben ser de fácil maquinado.
- Las herramientas de corte deben ser comerciales.
- El maquinado de las piezas debe realizarse con remoción mínima de material.
- Las herramientas empleadas para la verificación dimensional deben ser comerciales.
- El ensamblaje de la herramienta debe ser sencillo y utilizando herramientas comunes.

Económicos

- Sus dispositivos, accesorios y repuestos sean económicos.
- Los materiales utilizados para el maquinado de las piezas. deben ser comerciales.
- Deben utilizarse tornillos comerciales.

## Seguridad

- El equipo debe de operar de forma segura.

## Conservación

- Que sea fácil de reparar.
- Restricciones de tiempo.
- Que tenga un tiempo mínimo de fabricación, ensamble y prueba.
- Clasificación general de los requerimientos.

## **TERCER PASO. Determinar la importancia relativa de los requerimientos y expectativas de los clientes**

No todos los requerimientos y expectativas del cliente tienen el mismo grado de importancia. Hay algunos cuyo cumplimiento es completamente indispensable; sin ellos el producto no podría considerarse satisfactorio en ningún grado. A este tipo de requerimientos se les clasifica como obligatorios. Otros en cambio, se admiten cierta flexibilidad, de manera que su cumplimiento puede ser únicamente parcial. Si no se cumplen en su totalidad, el producto puede considerarse aun satisfactorio, a este tipo de requerimientos se les considera como deseables.

El primer paso consiste en separar los requerimientos obligatorios de los deseables.

A los requerimientos obligatorios se les asignara el mismo grado de prioridad; es decir, todos ellos tienen el mismo nivel de importancia y de esfuerzo del equipo de diseño deberán aplicarse para su cumplimiento total.

La verdadera ponderación se aplica a los requerimientos deseables (figura 2.2). Para ello se recomienda la aplicación de la



comparación por pares; este procedimiento consiste en comparar cada uno de los requerimientos con el resto.

Esta comparación debe hacerse sobre la base de que cada requerimiento es más importante o menos importante que aquel que se está comparando; por lo tanto, no se acepta que dos requerimientos tengan el mismo grado de importancia.

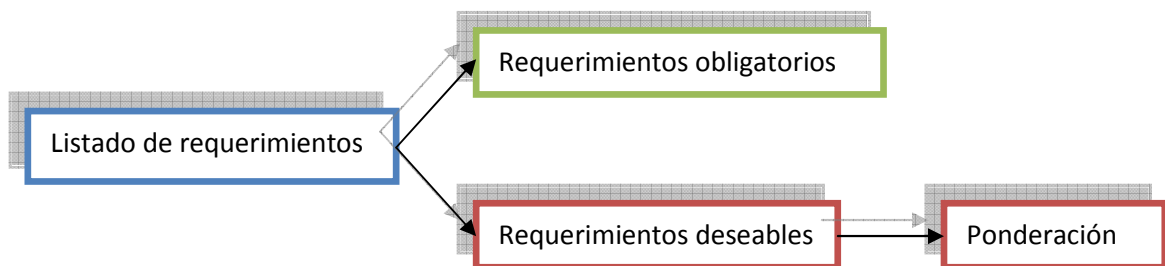


Figura 2.2 Separación de requerimientos en obligatorios y deseables

Con objeto de que efectivamente la voz del cliente se integre al proceso de diseño.

La identificación de los requerimientos obligatorios y deseables, así como la ponderación de los requerimientos deseables se debe realizar siempre en conjunto con el cliente. El resultado de la comparación se puede registrar en una matriz como la (figura 2.3).

La parte principal de la matriz consta de de cierto número de renglones y de igual número de columna. En cada renglón se anota, un requerimiento se compara, se le asigna un signo (+) si es importante y si es menos importante, se le asigna un signo (-). El resto de las casillas se anota con un (0).

A la derecha del renglón se anota la suma de los signos (+) de cada requerimiento.

En el extremo del renglón, se registra el valor relativo de la importancia de cada uno de los requerimientos. Este valor relativo se calcula dividiendo el total de signos (+) del requerimiento entre el número total de comparación C, y se puede expresar en porcentaje al multiplicar el resultado por 100.

Si N es número de requerimientos deseables, entonces la cantidad de posibles comparaciones C es igual a:

$$C = \frac{N(N - 1)}{2} \quad (2.1)$$

Entonces la cantidad de comparaciones para el ejemplo (figura 2.3), será:

$$C = \frac{6(6 - 1)}{2} = 15$$

El requerimiento identificado con la letra a, es más importante que los requerimientos “b”, “c”, “d” y “f”, y solo es menos importante que el requerimiento “e”. El total de signos (+) para “a”, es 4, entonces la importancia relativa Ir, se calcula con:

$$Ir = (4/15) * 100 = 26.66\%$$

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>D</b>	<b>e</b>	<b>F</b>	<b>Suma (+)</b>	<b>Ir (%)</b>
<b>a</b>	0	+	+	+	-	+	4	26.66
<b>b</b>	-	0	+	-	-	+	2	13.33
<b>c</b>	-	-	0	+	-	-	1	6.66
<b>d</b>	-	+	-	0	+	-	2	13.33
<b>e</b>	+	+	+	-	0	+	4	26.66
<b>f</b>	-	-	+	+	-	0	2	13.33
<b>Total</b>							<b>Suma=15</b>	<b>Suma=100%</b>

Figura 2.3 Ejemplo de ponderación de requerimientos.

Por otra parte, el requerimiento “c” solo tiene mayor importancia que el requerimiento “d”, ante los demás fue calculado como menos importante. La suma de los signos (+) sobre el renglón es 1, por lo que la importancia relativa  $I_r$  resulta  $I_r = (1/15) * 100 = 6.66\%$ .

“a” y “e” son los requerimientos deseables más importantes, con mayor importancia relativa del 26.66, en tanto que el requerimiento menos importante es el identificado con la letra “c”, con una importancia relativa del 6.66%. Los requerimientos “d”, “d” y “f” tienen la misma importancia relativa del 13.33. Estos resultados deberán proporcionar bases al equipo de diseño para dosificar sus esfuerzos en proporción directa a la importancia relativa de cada requerimiento.

## **CUARTO PASO. Estudio comparativo (benchmarking) a productos de la competencia**

El estudio comparativo debe hacerse tomando como referencia a los productos líderes.

En las etapas iniciales de desarrollo de un producto cuyo proyecto apenas está en gestación, se tiene pocos elementos como para incluirlo en el proceso de comparación con productos ya existentes en el mercado.

Sería poco objetivo comparar algo, que apenas está en proceso de clarificación, con productos físicos formados de materia y que tienen definidas sus características funcionales.

En cambio cuando se trata del rediseño de un producto que ya ha estado a la venta en el mercado, la comparación sí puede llevarse a cabo al mismo nivel de abstracción.

En cuanto a elementos de comparación necesarios para llevar a cabo la evaluación, se pueden considerar dos aspectos. Los requerimientos expresados por los clientes pueden ser medibles y subjetivos.

Los requerimientos medibles son fácilmente comparables. Por ejemplo si se trata de evaluar la capacidad de varios sistemas de elevación para cargar una masa de 1500 K, es fácil identificar cuáles de estos sistemas cumplen con este requerimiento.

En cambio los requerimientos subjetivos deben evaluarse con ayuda de los mismos clientes. Este tipo de requerimientos no son directamente medibles y por lo tanto su evaluación no se basa en una métrica. Por ejemplo, si el requerimiento se expresa como, “que se instale fácilmente”, será mejor que sean los mismos clientes, en este estado del avance del proyecto, quienes identifiquen cuales productos de la competencia cumplen mejor con el requerimiento.

Para apoyar la evaluación se puede utilizar algún sistema de calificación, como el siguiente basado en una escala del 1 al 5, donde:

1= El diseño no cumple en lo absoluto con el requerimiento.

2= El diseño cumple ligeramente con el requerimiento.

3= El diseño cumple medianamente con el requerimiento.

4= El diseño cumple casi en su totalidad con el requerimiento.

5= El diseño cumple totalmente con el requerimiento.

Aunque esta no es una forma muy refinada de hacer la evaluación, si proporciona una buena referencia de cómo los clientes perciben la calidad de los productos de la competencia.

## **QUINTO PASO (Traducción de los requerimientos y expectativas de los clientes en términos medibles de ingeniería)**

En algunos casos los requerimientos del cliente están planteados en términos técnicos perfectamente medibles para los cuales no es necesario hacer ninguna traducción.

En otros casos es necesario escudriñar en el significado de a fin de que se pueda expresar en uno o más términos medibles de ingeniería. A estos términos de ingeniería también se les llama “especificaciones de diseño”.

Del resultado de la traducción de requerimientos hay dos observaciones que conviene plantear, una se refiere a la cantidad de requerimientos obtenidos; la otra a la relación que en efecto puedan tener esos requerimientos con el proceso de diseño de un producto particular.

Ya que el ejemplo desarrollado anteriormente no es específico de algún producto en particular, cabe especular con mucha libertad. Por esta razón los posibles precursores de “que se instalen fácilmente” son diversos y numerosos.

Al tratar con un problema específico es probable que varios de los términos medibles se puedan descartar antes de pasarlos a la gráfica de despliegues de función calidad, o bien que la lista se tenga que ampliar más.

Lo importante de este análisis es que sea exhaustiva, para no dejar fuera algún aspecto importante, y que de la lista se defina, como ayuda del cliente, cuáles son los términos verdaderamente relevantes.

Este tipo de diferencias deben ser detectadas oportunamente por el equipo de diseño.

## **SEXTO PASO (Establecer metas de diseño)**

El sexto y último paso de la metodología QFD consiste en fijar las metas de diseño. Cada meta de diseño debe expresar una característica medible que debería tener el producto, y que se debe alcanzar a través del proceso de diseño.

El establecimiento de las metas de diseño se lleva a cabo tomando en cuenta:

- Los requerimientos del cliente.
- Las características de los productos de la competencia.
- El valor agregado que se desea imprimir al nuevo producto.

Cuando algunos requerimientos del cliente son suficientemente precisos, se convierten directamente en metas de diseño.

En otros casos, como se ha comentado, los requerimientos del cliente deben someterse a un proceso de traducción y durante este, surgen los términos medibles que dan lugar a la fijación de metas.

Sin embargo para asignar el valor a cada meta, las referencias se obtienen de las características de los productos de la competencia.

Esto implica por lo general la necesidad de adquirir ejemplos de los productos de la competencia para efectuarles pruebas bajo condiciones similares a las que se someterá el producto en desarrollo.

En la (figura 2.4) se muestra un ejemplo del gráfico de despliegue de calidad desarrollado por Ullman [8].

La aplicación de la metodología del QFD y la organización de la información generada, presentada en los gráficos de despliegue de funciones calidad, debe permitir la comprensión completa del

problema de diseño. En adelante se tendrán las bases para planificar las siguientes etapas del proceso de desarrollo del producto. Se tendrán los elementos de juicio, en función de los requerimientos identificados, para decidir qué tipo de herramienta de diseño emplear en las siguientes etapas; diseño de experimentos, diseño de manufactura y el ensamble, diseño para la fiabilidad, etc.

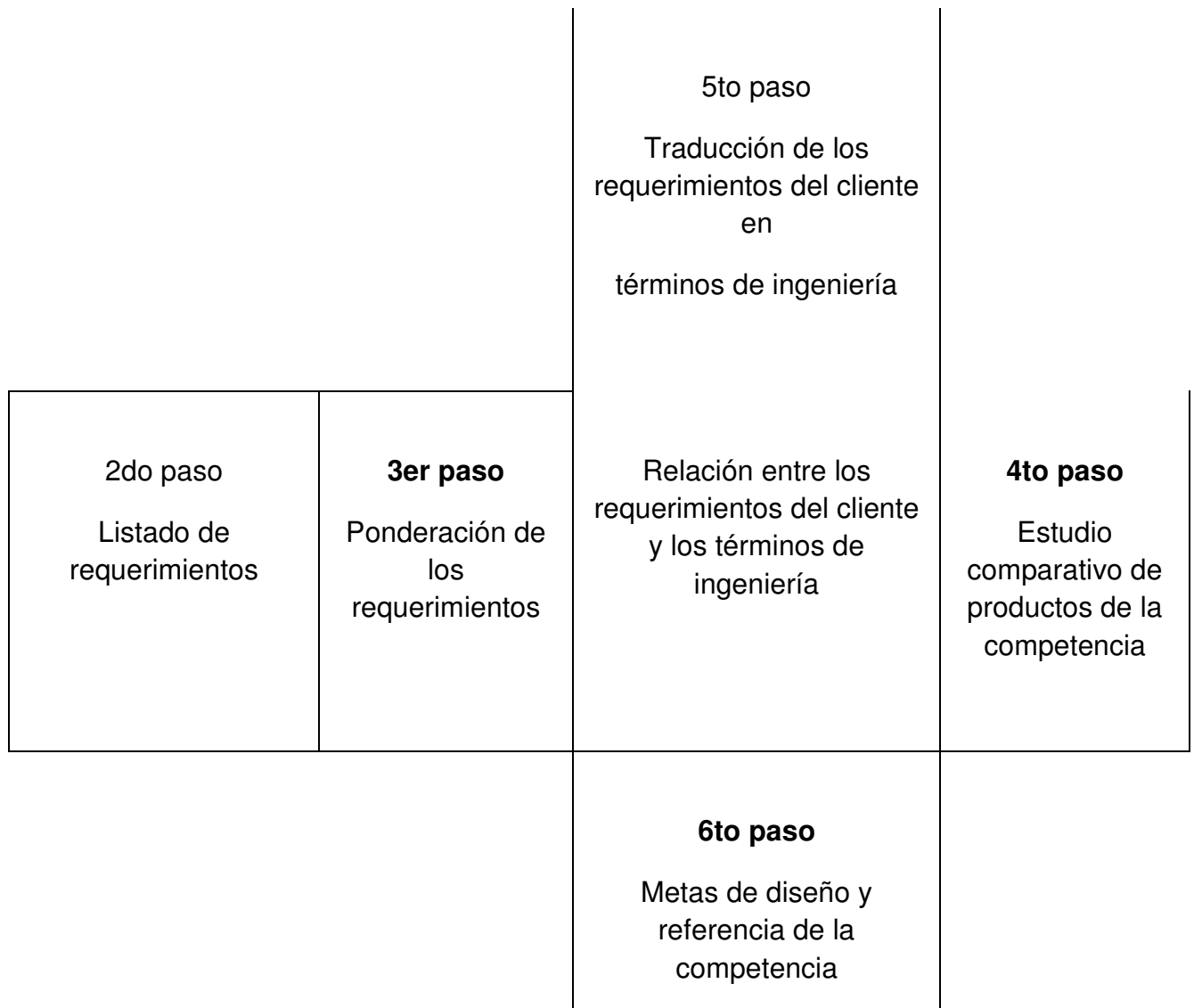


Figura 2.4 Segunda parte de la construcción del grafico de despliegue de funciones calidad

## 2-2 Aplicación del QFD para el diseño y fabricación de la herramienta para la extracción de rodamientos para la marcha generadora

A continuación se aplicara la metodología del QFD para la herramienta de extracción.

### PRIMER PASO Identificación del cliente

El cliente externo: Laboratorio de Helicópteros, asesores de tesis, jefe del laboratorio, personal del laboratorio de mantenimiento del helicóptero.

El cliente interno: Estudiantes de la carrera de ingeniería en aeronáutica, esto que somos los que nos vemos impactados por el proceso de diseño y de fabricación.

Cliente externo	Cliente interno
<ul style="list-style-type: none"><li>- Laboratorio de Helicópteros</li><li>- Asesores de tesis.</li><li>- Jefe de laboratorio.</li><li>- Personal de laboratorio.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Estudiantes de la carrera de ingeniería en aeronáutica.</li></ul>

### SEGUNDO PASO. Determinación de los requerimientos y expectativas del cliente

Listado general de requerimientos:

1. Deben utilizarse elementos de sujeción comercial.
2. Debe ser fácil y rápida su colocación para la extracción del rodamiento.



3. La herramienta debe poseer rigidez y resistencia suficiente. para poder extraer el rodamiento.
4. La herramienta debe ser lo más ligera posible.
5. La herramienta debe de operar de forma segura.
6. Que resista a la corrosión.
7. Que sea fácil de reparar.
8. Que tenga un tiempo mínimo de fabricación.
9. Los materiales utilizados para la fabricación de las piezas deben ser comerciales.
10. Las formas geométricas deben ser de fácil maquinado.
11. La fabricación se realizara con el equipo y herramienta de la escuela.
12. La fabricación de las piezas debe realizarse con remoción mínima de material.
13. Utilizar los instrumentos de verificación dimensional de la escuela.
14. El ensamblaje de la herramienta de ser sencillo y utilizando herramientas normalizadas.

Una vez ya en listados los requerimientos y expectativas del cliente, se procede a agrupar los requerimientos en las siguientes divisiones (tabla 2.1):

- Desempeño funcional.
- Manufactura.
- Económicos.
- Seguridad.
- Conservación.
- Restricción de tiempo.

Tabla 2.1 Agrupación de requerimientos.

GRUPO	Ref.	REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE
<b>Desempeño funcional</b>	1	Debe ser fácil y rápida su colocación para la extracción del rodamiento
	2	La herramienta debe poseer rigidez y resistencia suficiente para poder extraer el rodamiento
	3	La herramienta debe ser lo más ligera posible
	4	Que resista a la corrosión
<b>Manufactura</b>	5	Las formas geométricas deben ser sencillas para su maquinado
	6	Utilizar herramientas de corte comerciales
	7	El maquinado de las piezas debe realizarse con remoción mínima de material
	8	Las herramientas empleadas para la verificación dimensional deben ser comerciales
	9	El ensamblaje de la herramienta debe ser sencillo y utilizando herramientas comunes
<b>Económicos</b>	10	Los materiales utilizados para el maquinado de las piezas deben ser comerciales
	11	Deben utilizarse tornillos comerciales
<b>Seguridad</b>	12	La herramienta de extracción debe de operar de forma segura
<b>Conservación</b>	13	Que sea fácil de reparar
<b>Restricciones de tiempo</b>	14	Que tenga un tiempo mínimo de fabricación

## TERCER PASO (Determinar la importancia relativa de los requerimientos y expectativas de los clientes)

Una vez concluido el segundo paso se procede a separar los requerimientos en deseables (Azul) y obligatorios en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Agrupación general de los requerimientos.

REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE	valor	unidad	mesurable		obligatorio	
			si	no	si	no
Debe ser fácil y rápida su colocación para la extracción del rodamiento				x		x
La herramienta debe poseer rigidez y resistencia suficiente para poder extraer el rodamiento				x	x	
La herramienta debe ser lo más ligera posible	1.5	Kg	x			x
Que resista a la corrosión				x	x	
Las formas geométricas deben ser sencillas para su maquinado				x		x
Las herramientas de fabricación deben ser las más comerciales				x		x
La fabricación de las piezas debe realizarse con remoción mínima de material				x		x
Las herramientas empleadas para la verificación dimensional deben ser comerciales	2	Sistema Ingles	x			x
El ensamble de la herramienta debe ser sencillo y utilizando herramientas comunes	20	min	x			x
Los materiales utilizados para la fabricación de las piezas deben ser comerciales	100	%	x		x	
Deben utilizarse elementos de sujeción comerciales	3	piezas	x		x	
El equipo debe de operar de forma segura				x	x	
Que sea fácil de reparar				x		x
Que tenga un tiempo mínimo de fabricación	2 a 3	meses	x			x

Después de lo anterior se procede a abreviar los requerimientos deseables para que el próximo paso sea más fácil de realizar (tabla 2.3).

Tabla 2.3 Requerimientos abreviados

Ref.	REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE ABREVIADOS
1	fácil y rápida colocación
2	rigidez y resistencia
3	Ligera
4	resistente a la corrosión
5	geometrías simples
6	herramientas de fabricación
7	remoción mínima
8	verificación dimensional
9	ensamble sencillo
10	materiales comerciales
11	tornillos comerciales
12	operación segura
13	fácil de reparar
14	tiempo de fabricación

Una vez terminado lo anterior se procede con la ponderación de los requerimientos (tabla 2.4).

Tabla 2.4 Ponderación de requerimientos deseables

Requerimientos deseables													
		1	3	5	6	7	8	9	10	14	15	suma	lr (%)
1	fácil y rápida colocación	0	+	-	+	-	+	-	-	-	-	3	9.1
3	ligera	+	0	-	-	-	-	+	+	-	-	3	9.1
5	geometrías simples	+	+	0	+	-	-	-	+	-	-	4	12
6	herramientas de fabricación	-	+	-	0	-	+	+	-	-	-	3	9.1
7	remoción mínima	+	+	+	-	0	+	+	-	-	-	5	15
8	verificación dimensional	-	-	-	-	-	0	-	+	-	-	1	3
9	ensamble sencillo	+	-	-	+	-	+	0	+	-	-	4	12
14	fácil de reparar	-	+	-	-	+	-	-	+	0	-	3	9.1
15	tiempo de fabricación	+	+	-	+	-	+	+	+	+	0	7	21
											Suma	33	100

#### **CUARTO PASO. Estudio comparativo (benchmarking) a productos de la competencia**

El estudio comparativo se realizó con dos tipos de extractores.

La primera comparación se llevó a cabo con la herramienta proporcionada por Cóndores (Figura 2.5), esta herramienta es especial para la extracción de los rodamientos de la marcha generadora del motor Arriel 1B.



Figura 2.5 Herramienta extractora (cortesía de Cóndores).

La segunda comparación se llevo a cabo con un extractor convencional (Figura 2.6), proporcionado por el laboratorio de Térmica de la ESIME UP Ticoman.



Figura 2.6 Herramienta proporcionada por el Laboratorio de Térmica, ESIME U.P. Ticoman.

Tabla 2.5 Estudio comparativo (Benchmarking)

REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE (ABREVIADOS)	valor	Valor	Unidad
	Extractor cóndores	Extractor convencional	
Fácil y rápida colocación	30	40	Min
Ligera	2	0.8	Kg
Geometrías simples	Forja	Fundición	Proceso de manufactura
Herramientas de fabricación	Forja	Fundición	
Remoción mínima	Sin perdida	Sin perdida	Material
Verificación dimensional	1/1000	1/1000	Pulgadas
Ensamble sencillo	20	40 min	Min
Tornillos comerciales	3	6	Piezas
Fácil de reparar	30	30	min
Tiempo de fabricación	2 a 3	2 a 3	Meses

## QUINTO PASO. Traducción de los requerimientos y expectativas de los clientes en términos medibles de ingeniería

A continuación se muestra la traducción de los requerimientos del cliente en términos medibles de ingeniería (tabla 2.6). A estos términos también se les llama “especificaciones de diseño”.

Tabla 2.6 Traducción de los requerimientos en términos medibles

Ref.	REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE	requerimiento traducido	Valor	unidad
1	Elaboración fácil y rápida para la extracción del rodamiento	tiempo de colocación	30	min
2	La herramienta debe poseer rigidez suficiente para poder extraer el rodamiento	Rigidez	3575,	lb/plg <sup>2</sup>
3	La herramienta debe ser lo más ligera posible	peso máximo permitido	1.5 a 2	Kg
4	Que resista a la corrosión	-----	-----	-----
5	Las formas geométricas deben ser sencillas para su maquinado	Geometrías simples	-----	Proceso
6	Las herramientas de corte deben ser las más comerciales	Herramientas convencionales	Variable	%
7	El maquinado de las piezas debe realizarse con remoción mínima de material	disponibilidad comercial de los tamaños seleccionados	-0.5 -1.250 - 0.375 -0.625	pulgadas
8	Las herramientas empleadas para la verificación dimensional deben ser comerciales	disponibilidad comercial de herramientas de medición	1/1000	pul
9	El ensamblaje de la herramienta debe ser sencillo y utilizando herramientas comunes	Tiempo de ensamblaje	20	Min
10	Los materiales utilizados para el maquinado de las piezas deben ser comerciales	disponibilidad de materiales requeridos	STD	%
11	Deben utilizarse tornillos comerciales	disponibilidad de tornillería estándar	3	piezas
12	El equipo debe de operar de forma segura	Uso adecuado	-----	-----
13	Que sea fácil de reparar	tiempo empleado en el mantenimiento	30	min
14	Mínimo tiempo de fabricación	Tiempo mínimo de fabricación	15	días



## SEXTO PASO. Establecer metas de diseño

El último paso es establecer las metas de diseño, las cuales se muestran en la siguiente tabla 2.7, esto se hace comparando las metas de diseño con los parámetros de diseño de la competencia.

Tabla 2.7 Metas de diseño

unidad	Cóndores	Laboratorio	diseño
min	30	40	30
Kg	2	0.8	1
Geometría	No es sencilla	No es sencilla	Simple
proceso	Forja	Fundición	Maquinado
material	Sin perdida	Sin perdida	Sin perdida
pulgadas	1/100	1/100	1/100
min	20	40	20
Piezas	3	6	3
Min	30	30	30
Días	30-60	30-60	15

Para finalizar se procede a realizar la casa de la calidad esta se forma con los seis desarrollados.

Análisis QFD herramienta de extracción

requerimiento traducido  
 tiempo de colocación  
 resistencia  
 peso máximo permitido  
 Que resista a la corrosión  
 disponibilidad comercial de los procesos de maquinado  
 disponibilidad comercial del instrumental de corte  
 disponibilidad comercial de los tamaños seleccionados  
 disponibilidad comercial de herramientas de medición  
 El ensamble de la herramienta debe ser sencillo  
 costo de repuestos  
 disponibilidad de materiales requeridos  
 disponibilidad de tornillería estándar  
 uso adecuado  
 tiempo empleado en el mantenimiento  
 Que tengan un tiempo de fabricación

Traducción de requerimientos (Tabla 2.6)

Relación de matrices

Desempeño función  
 Manufactura  
 Económicos  
 Seguridad  
 Conservación  
 Restricciones de tiempo

GRUPO	Ref.	REQUERIMIENTO DEL CLIENTE	Ir (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1 (A1)	facil y rapida colocacion	9.09	9																
2 (A2)	rigidez y resistencia	*																	
3 (A3)	ligera	9.09	1	9															
4 (A4)	resistente a la corrosión	*													1	9			
5 (B1)	geometrias simples	12.12						5	1										
6 (B2)	herramientas de corte	9.09							9										
7 (B3)	remocion minima	15.15						5		1									
8 (B4)	verificación dimensional	3.03									5								
9 (B5)	ensamble sencillo	12.12										9							
10 (C1)	repuestos económicos	0.00											5						
11 (C2)	materiales comerciales	*								1						9			
12 (C3)	tornillos comerciales	*												1			9		
13 (D1)	operación segura	*			5	1												9	
14 (E1)	facil de reparar	9.09											5				1	9	
15 (F1)	tiempo de fabricación	21.21																	9
	suma	100																	

Benchmarking		
valor	Valor	unidad
	Extractor	
	Extractor condor	laboratorio
20	40	min
2	0.8	N/m^2
		Kg
9		
5	no es sencilla	No es sencilla
9	Forja	Fundición
5	Sin perdida	Sin perdida
5	1/1000	1/1000
9	20	40
5		
5		
9	3	6
9		
9	30	30
9	2 a 3	2 a 3
9		

unidad	m	N/m^2	Kg		proceso	material	pulgadas	min	\$		Piezas		min	meses
Condores	30					no es sencilla	Forja	Sin perdida	1/100	20			30	2 a 3
Laboratorio	40		0.8			No es sencilla	Fundición	Sin perdida	1/100	40			30	2 a 3
diseño	30		1			simples	maquinada	sin perdida		20			30	1 a 2

Estudio comparativo (Tabla 2.5)

Agrupación de requerimientos (Tabla 2.1)

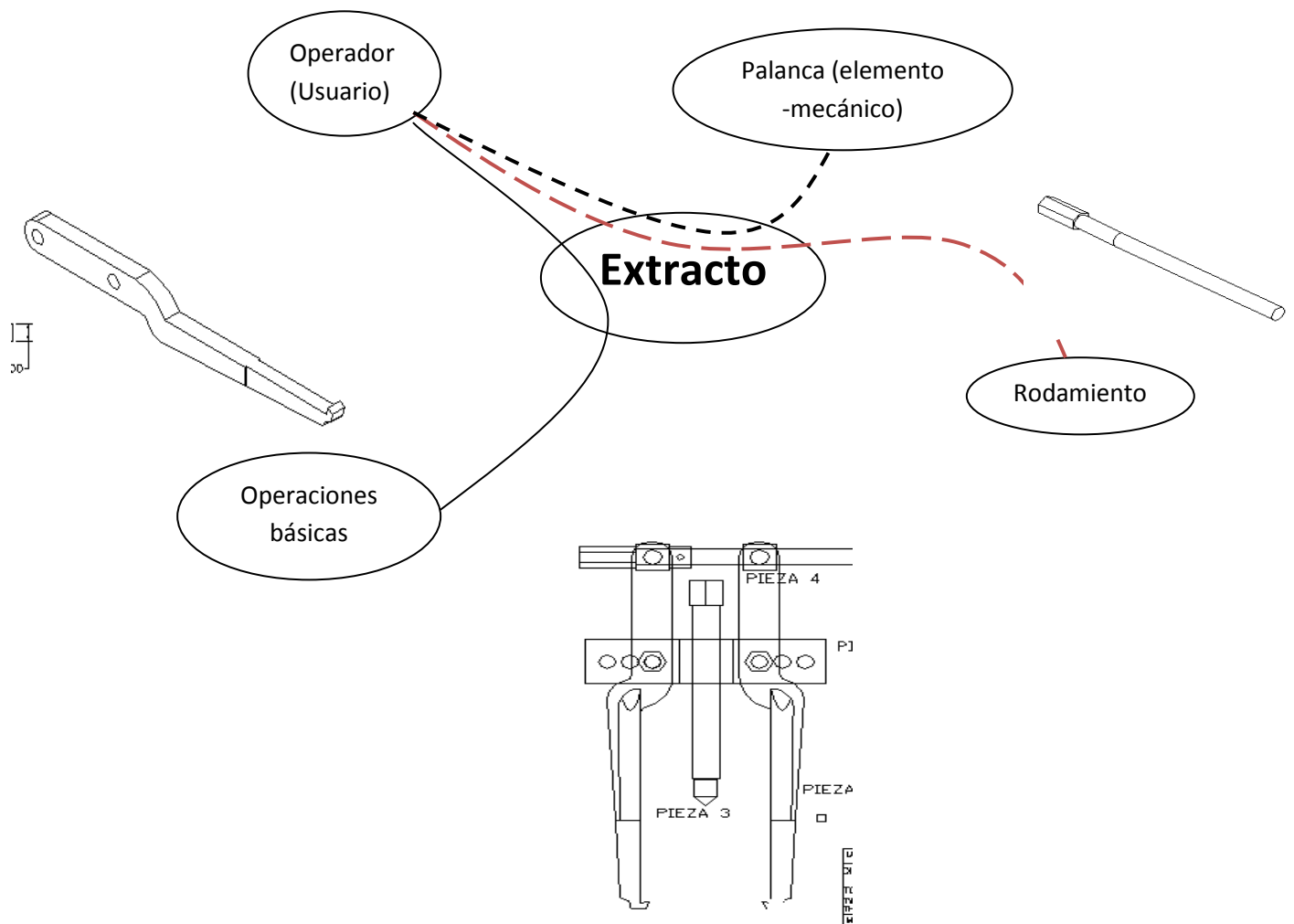
Ponderación (Tabla 2.4)

Metas de diseño (Tabla 2.7)

Requerimientos obligatorios *	fuerte relación	9
grado de importancia en objetivos	mediana relación	5
	poca relación	1
	1	↑
	2	↔
puntos importantes en el diseño	3	↘
	4	↓

# CAPÍTULO 3

## DISEÑO CONCEPTUAL



### 3-1 **Metodología del diseño conceptual**

La siguiente información relacionada con el diseño conceptual se toma de la referencia [1].

Metodología en esta fase de diseño se basa en una estrategia muy simple: “la estructura o la forma siguen a la función”. Esto quiere decir que antes de comenzar con la definición de las formas, es necesario tener identificadas todas las funciones que debe realizar el producto para que responda a las expectativas del cliente. En otras palabras, primero debe definirse el qué, solamente después él como a la forma de la estructura. De esta manera, la metodología de la fase conceptual debe partir de la clarificación de los requerimientos del cliente, para convertirlos en un modelo funcional. A partir de este modelo, que al mismo tiempo representa un conjunto de funciones que es necesario que realice el producto, también se puede interpretar como la fragmentación (descomposición funcional) del problema en su conjunto (función global). Una vez definido el modelo funcional, el siguiente paso consiste en generar conceptos de diseño; es decir, generar las ideas con las cuales se pretende dar la solución a cada una de las funciones definidas en el modelo funcional. El objetivo durante la etapa de generación de ideas es lograr el mayor número de conceptos con la finalidad de obtener aquel que mejor cumpla con los requerimientos que se identificaron en la etapa de QFD del capítulo anterior. Al final de esta fase se deberá tener claro un concepto del diseño de la herramienta.

## **3-2 Clarificación de los requerimientos del cliente**

La clarificación de los requerimientos tiene como objetivo establecer el enlace entre la primera etapa del proceso de diseño (aplicación del QFD) y la etapa conceptual. Esto implica la revisión de los resultados de la aplicación del despliegue de la función calidad, y la comprensión completa de las metas de diseño establecidas en el gráfico del despliegue de la función calidad. La justificación para hacer esta revisión de especificaciones y metas de diseño nace de la dinámica que se representa en la integración del equipo de diseño conceptual haya integrantes que no participaron anteriormente y que requieren adquirir conocimiento exacto de los resultados obtenidos hasta este momento. Si durante el proceso de revisión se determina que es necesario replantear algún aspecto de los resultados del QFD. Se hace con objeto de no avanzar sin tener perfectamente clara la comprensión del problema del problema.

En este paso el equipo debe ser capaz de describir el objetivo del proyecto de manera que incluya la función global de servicio del producto e identificar los límites del sistema.

### **3-2 -1 Función global de servicio del producto**

Para el caso del diseño mecánico, una función representa la utilidad o el papel que desempeña un elemento o un conjunto completo (de manera general, un sistema). La función implica una actividad que se realiza o es capaz de realizar el elemento o el conjunto (figura 3.1). Por lo tanto la función lleva implícita una acción; es decir, alguna transformación que se puede describir en términos de flujos lógicos de materia, de energía, de información o una combinación de ellas.

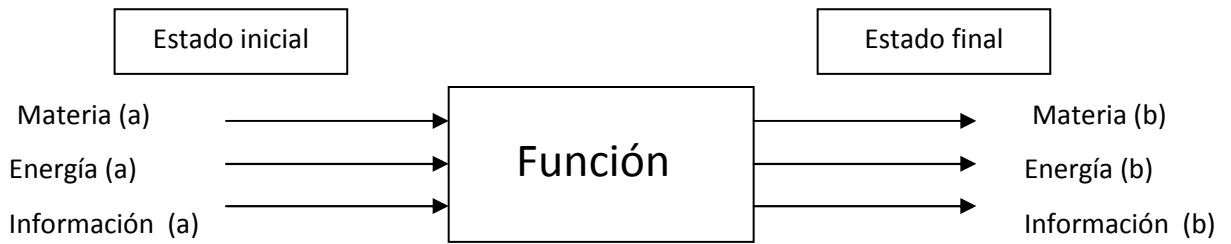


Figura 3.1 Modelo de una función mecánica.

Las funciones asociadas a flujos de energía se pueden clasificar tanto por el tipo de energía como por su acción en el sistema. En los sistemas mecánicos los tipos comunes de energía son: mecánica, eléctrica, térmica y fluidica. Cuando estos tipos de energía fluyen a través de un sistema (figura 3.2) pueden someterse a una transformación, almacenamiento, conducción, suministro, o disipación.

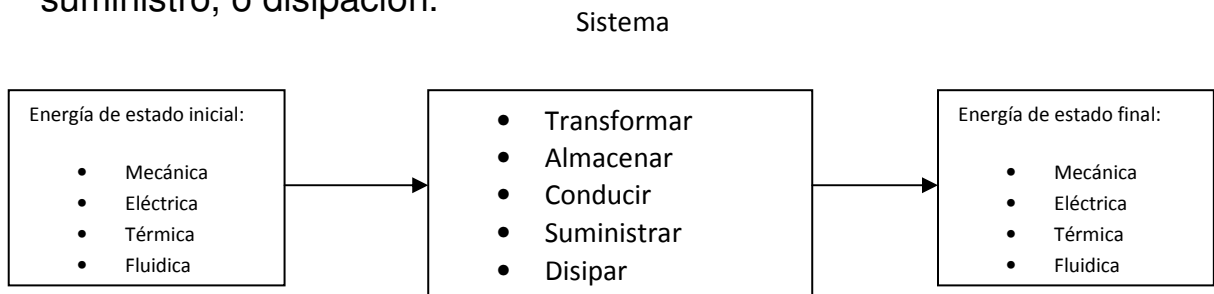


Figura 3.2 función como flujo de energía.

Las funciones asociadas con los flujos de materia se pueden clasificar en tres tipos:

1) Flujos conservativos

Los procesos con conservación de material. En estos procesos (figura 3.3) el material se manipula para cambiarlo de posición, para elevarlo, sostenerlo, soportarlo, moverlo, trasladarlo, girarlo, guiarlo, etc.

## Sistemas

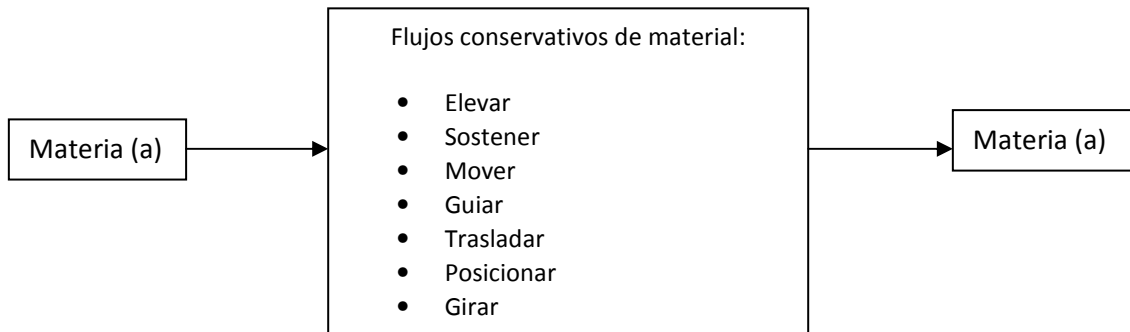


Figura 3.3 función como flujo conservativo de materia

2) flujos divergentes: Son procesos en los que el material se divide en dos o más partes. En la figura 3.4 se muestran algunos términos que describen los procesos divergentes los cuales son: desensamblar, cortar, separar, romper, filtrar, maquinar, etc.

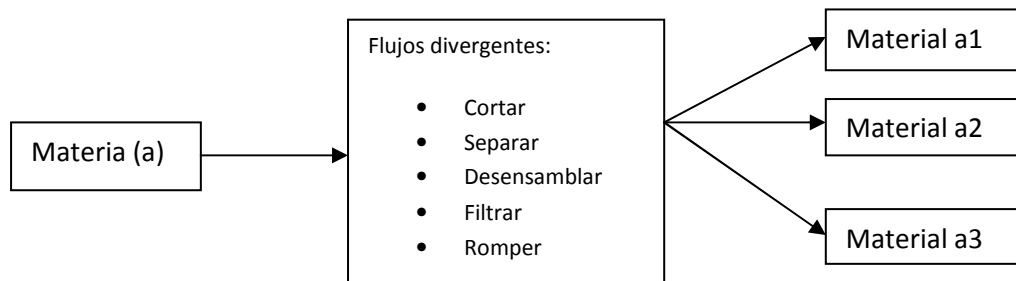


Figura 3.4 Función como flujo divergente de material

3) flujos convergentes: Son los procesos de ensamblado o de unión de materiales. En la figura 3.5 se muestran algunos términos que describen los procesos convergentes los cuales son: pegar, unir soldar, ensamblar, remachar, engrapar, etc.

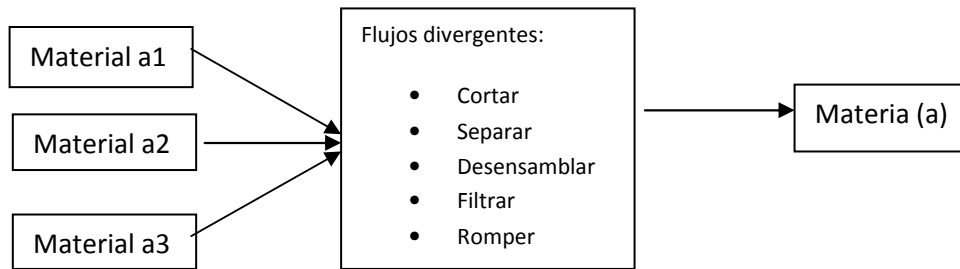


Figura 3.5 Función como flujo convergente de material

Las funciones asociadas con flujos de información pueden ser llevadas a cabo a través de señales mecánicas, eléctricas o de software. Estas diferentes señales pueden formar parte de un sistema automático de control o mantener una interfaz con el ser humano, quien sería el que active en principio la señal.

Es recomendable que para adquirir práctica en la descripción de la función global, se recurra a productos que ya existen y de los cuales se tiene conocimiento de sus características funcionales. Por ejemplo, si se quisiera describir la función global de servicio de un torno paralelo, se podría anotar lo siguiente: “diseñar una máquina capaz de generar, mediante desprendimiento de viruta, piezas de metal con formas interiores y exteriores de revolución”.

### 3-2 -2 || Limites del sistema

El producto a diseñar, ya sea que se trate de una pieza o de un conjunto complejo de componentes. Debe ser visto como un sistema por medio del cual debe poderse llevar a cabo la función global prevista. Como ningún sistema se diseña independientemente de su entorno. Deben establecerse los límites entre aquello que se va a diseñar y el entorno que lo rodea y restringe, en particular son importantes aquellos elementos del entorno que tiene incidencia sobre la función global.



El entorno de un sistema es el conjunto de los elementos físicos y humanos (materiales, energía, utilizador, reparador, etc.) que están en relación con el producto durante su ciclo de vida, esto se muestra en la figura 3.6.

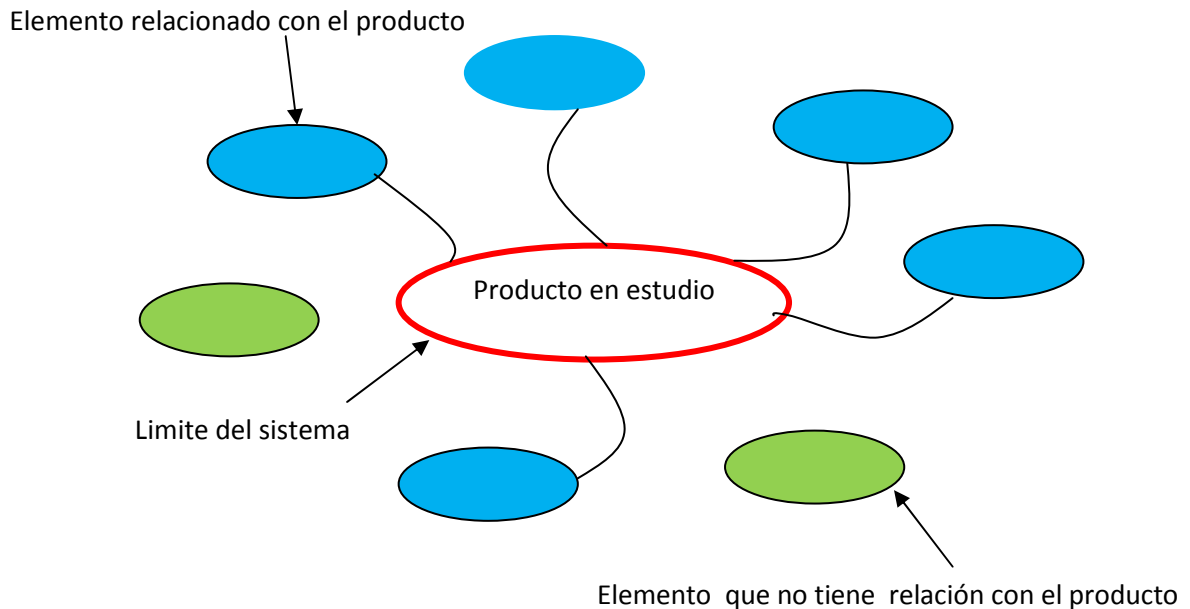


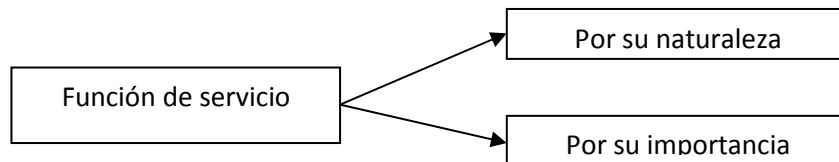
Figura 3.6 Entorno y limites del sistema

Las funciones de servicio relacionan al producto en un estudio con uno o más elementos del entorno. Para satisfacer una necesidad se pueden tener una o más funciones de servicio.

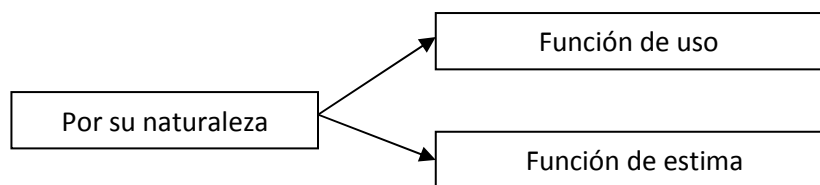
Las funciones de servicio se listan sin importar el orden, de las funciones de servicio listadas una o más son las que le dan existencia al producto. Esta función es la que se considera función global de servicio. Las funciones restantes son consideradas complementarias de la función global.

De lo anterior se desprende que hay funciones de servicio: la siguiente es una clasificación que ofrece A. Chevalier, este investigador considera que:

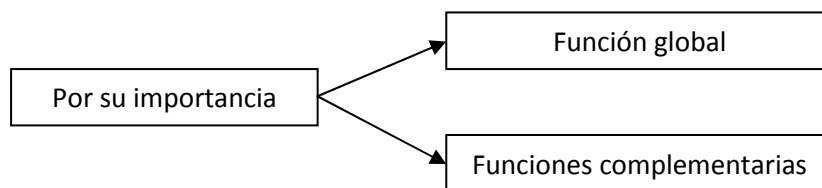
La función global se clasifica por su naturaleza y por su importancia:



A su vez la naturaleza de la función de servicio se clasifica en dependencia de su uso y de la estima que provoque:



Por su parte, la clasificación de las funciones de servicio por su grado de importancia se separa en función global, y en funciones complementarias.



Cuando se establecen los límites del sistema es de mayor importancia tomar en cuenta tanto los elementos del entorno que tiene relación con el producto, como el tipo de relación entre el producto y tales elementos.

Una forma sistemática de proceder es la siguiente:

- Definir los límites del sistema.
- Hacer el intervalo de los elementos del entorno que tiene relación con el sistema.
- Determinar las funciones de servicio, es decir, el tipo de relación que se requiere entre los elementos del entorno y el sistema para satisfacer la necesidad.
- Clasificar las funciones de servicio por su naturaleza e importancia.
- Identificar las funciones globales y las complementarias, así como las funciones de uso y de estima.

### 3-2.3 | Funciones técnicas

Hasta ahora el producto en estudio se ha tratado como un sistema que mantiene algunas relaciones con ciertos elementos del entorno en que estará ubicado. Sin embargo, nada se ha dicho de lo que debe suceder en su interior del sistema. Es decir, el sistema se ha tratado como “una caja negra”, en cuyo caso interior deben ocurrir ciertas funciones que hasta el momento se ignora, pero se ha clarificado mediante las funciones de servicio lo que debe suceder a la entrada y a la salida del sistema.

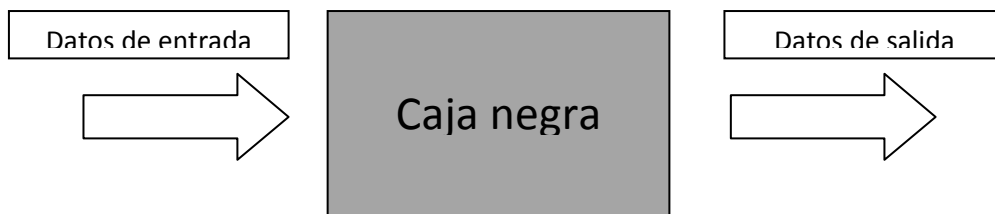


Figura 3.7 El sistema como caja negra

Un siguiente paso consiste en convertir esa “caja negra” (figura 3.7) en una “caja transparente” figura 3.8 a través de la cual se pueda ver su interior. Para que las funciones de servicio puedan ocurrir, es necesario que en el interior del sistema ocurran funciones; a estas funciones se les llama funciones técnicas.

Una función técnica es una acción interna entre los constituyentes de un producto que resulta del trabajo conceptual del proyectista y del constructor, en el mercado de la solución de las funciones de servicio.

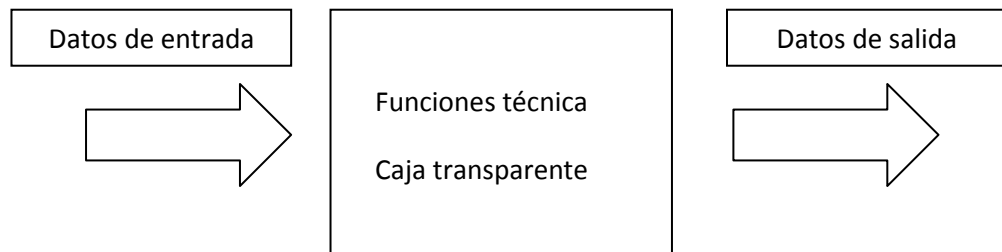


Figura 3.8 Las funciones técnicas ocurren en el interior del sistema

### 3-3 | Definición del modelo funcional

Aplicando el principio fundamental de la metodología del “análisis del valor”, que consiste en “considerar a un producto como un conjunto de funciones y no como un conjunto de piezas”, el siguiente paso consiste en definir el modelo funcional del producto. Esto es, determinar que funciones son necesarias para satisfacer la necesidad del cliente, jerarquizar las diferentes funciones, determinar la relación que debe haber entre ellas y describir esto gráficamente. Para construir el modelo funcional se puede proceder de manera intuitiva o de manera sistemática. En ambos casos es aconsejable que se desarrolle en equipo, como el resto de actividades del proceso de diseño. Para proceder de manera sistemática se puede aplicar el método conocido como “análisis funcional descendente”.

### **3-3-1 | Análisis funcional descendente**

El análisis funcional descendente es un método para describir gráficamente las funciones de un sistema. Este método se basa en una sucesión coherente de diagramas. El análisis se hace de manera descendente (figura 3.9), es decir, procediendo desde lo más general hasta lo más particular. La función mas general es la función global y a partir de ella se tendrán, en un segundo nivel, las funciones complementarias. Finalmente, en los niveles que sean necesarios se desglosaran las funciones técnicas.

### **3-3-2 | Principios de representación**

La representación grafica se efectúa a partir de “cajas”, líneas de flecha con alguna orientación y un cierto número de reglas de elaboración.

Cajas.- cada caja representa una parte de la descomposición del problema, y cada lado de la caja tiene un significado particular.

Flechas.- las flechas establecen relaciones entre cajas y representan las interfaces, los entornos o las restricciones. Cada flecha debe estar acompañada de una identificación en lenguaje claro, o una referencia para entender su naturaleza en una tabla que agrupe estas indicaciones.

Las principales reglas de elaboración son:

1. Las flechas que entran muestran lo que requiere la caja para cumplir las exigencias especificadas en la salida.

2. Los datos de entrada se transforman en datos de salida para la función expresada en la caja.
3. Los controladores rigen la manera en que ocurren las transformaciones.
4. Cada flecha que entra o sale de una caja de un nivel dado, debe volver a aparecer sobre el diagrama del nivel inferior.
5. Para facilitar la comprensión, no exceder de seis cajas por diagrama.

Controles: ordenes, presencia de energía, presencia de materia de transformación

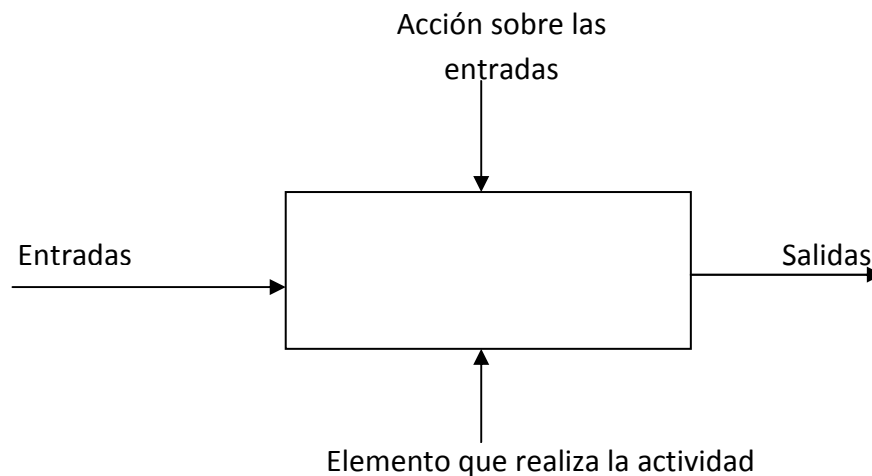


Figura 3.9 Ejemplo de una caja con sus flechas

### 3-4 | Generación de conceptos

La generación de conceptos es el tercer paso de la metodología del diseño conceptual. La estrategia a seguir en este punto consiste en generar la mayor cantidad posible de conceptos. Como se ha indicado anteriormente, debe evitarse la tentación de comenzar a evaluarlos conforme se van generando. Ya sea que se trabaje en forma individual o en grupo, es importante que el proceso creativo se disperse libremente y para ello deben evitarse

las condiciones que inhiben a los individuos a proponer sus ideas. En este punto, la tendencia de los ingenieros, producto de su naturaleza y su propia formación profesional, al analizar y evaluar de inmediato cada propuesta que escuchan, deberá contenerse para beneficio del proceso de generación de conceptos.

### **3-4-1** | **Matrices morfológicas**

Hay diferentes maneras de atacar este paso de la metodología. Se puede proceder en forma intuitiva, bosquejando algunas soluciones y organizándolas para evaluarlas posteriormente.

Es un hecho que la mayoría de los diseños de una nueva creación se constituyen a partir de una variación o modificación de productos o maquinas ya existentes. Por otra parte también es frecuente que los consumidores prefieren productos mejorados en lugar de productos completamente novedosos.

La variación de conceptos ya establecidos en una actividad común en el proceso de diseño, y es una forma de activar el pensamiento creativo. En particular la creatividad se puede ver como un nuevo ordenamiento o una nueva combinación de elementos ya existentes. Esto es tan potencialmente fructífero que aun con pocos elementos se puede lograr un gran número de diferentes opciones. Por ejemplo, un simple análisis de las posibles formas que se pueden obtener acomodando figuras cuadradas con sus lados adyacentes, daría el resultado mostrado en la tabla 3.1.

Cantidad de cuadros	Cantidad de formas distintas
2	1
3	2
4	5
5	12
6	35
7	108
...	...
...	...
...	...
16	13079255

Tabla 3.1 Formas distintas obtenidas

Como se puede observar, el número de posibles combinaciones se vuelve rápidamente una cantidad muy grande. Este fenómeno es aprovechado por el método de matrices morfológicas, por lo cual este es uno de los más populares entre los diseñadores para generación de conceptos.

La morfología es el estudio de la forma y de sus transformaciones. De manera que las matrices morfológicas permiten la búsqueda de nuevas formas de conceptos de diseño. La matriz morfológica se construye a partir de dos entradas: en la columna del lado izquierdo se anotan las funciones que se requieren realizar en el producto (el qué); sobre las diferentes filas se registran las propuestas de solución (el cómo) con las que se considera que se pueden llevar a cabo las diferentes funciones. A partir de allí se efectúan combinaciones para obtener nuevos conceptos.

Es conveniente que las funciones tengan el mismo nivel de generalidad. Por ejemplo, se puede construir una matriz morfológica para las funciones y las correspondientes a cada uno de los subsistemas del sistema general. El lenguaje utilizado para describir las diferentes propuestas puede ser semántico, gráfico, o



una combinación de ambos. En la siguiente tabla 3.2 muestra un ejemplo en el que la matriz se ha construido utilizando solamente lenguaje semántico para el caso de un montacargas. En este ejemplo se trata de encontrar soluciones diferentes a las de los montacargas convencionales. Para ello se han agrupado una serie de ocho funciones que están listadas en la columna de la izquierda. En las diferentes columnas se han anotado entre tres y cinco propuestas para cada función. La cantidad de posibles combinaciones que se pueden lograr con las propuestas de esta matriz alcanza la cifra de  $5 \times 4 \times 5 \times 5 \times 3 \times 3 \times 4 \times 5 = 90000$ . Por supuesto que muchas de estas combinaciones no son viables ni prácticas, sin embargo la posibilidad de obtener una solución diferente que la de los montacargas convencionales se amplía enormemente.

Tabla 3.2 Ejemplo de matriz morfológica para montacargas

Función	a	b	c	d	e
Soportar el vehículo	Ruedas	Cadena de oruga	Colchón de aire	Correderas	Partas articuladas
Impulsar el vehículo	Ruedas motrices	Empuje de aire	Cable	Inducción lineal	
Suministrar energía	Eléctrica	Petróleo	Diesel	Gas	Vapor
Transmitir movimiento	Engranajes	bandas	Cadenas	Hidráulico	Cables
Dirigir movimiento	Ruedas giratorias	Empuje de aire	Rieles		
Parar vehículo	Frenos	Empuje de reversa	Trinquete		
Elevar carga	Gato hidráulico	Piñón cremallera	Tornillo-tuerca	Cadena	
Operar vehículo	Sentado al frente	Sentado atrás	parado	caminando	Control remoto

Otras fuentes para obtener ideas durante la etapa de generación de conceptos son los catálogos industriales, las patentes, revistas especializadas, etc. Algunos libros como “Practical Studies in Systematic Design” [4] de Hubka, Andreasen y Eder contienen ejemplos interesantes y detallados del desarrollo de conceptos a través del uso de matrices morfológicas, esquematización, y definición preliminar de las formas y dimensiones principales.

## **3-5** | **Evaluación de conceptos**

La evaluación de conceptos es la parte final de la fase del diseño conceptual. Su objetivo consiste en seleccionar el mejor concepto de diseño de entre los que se generaron previamente. La meta consiste en invertir la menor cantidad de recursos para decidir cuál es el concepto idóneo que en la etapa de diseño de detalle se desarrollara por completo hasta convertirlo en un producto definido. El mayor problema de la evaluación se debe al caso de grado de definición de los conceptos; ya que a este nivel se encuentran expresados en forma poco detallada.

### **3-5-1** | **Evaluación basada en factibilidad del concepto**

Una metodología propuesta es: la basada en la factibilidad del concepto.

La primera impresión que produce un concepto en los integrantes del equipo de diseño se puede ubicar en una de las tres siguientes:

(1) no es factible, no funciona; (2) tal vez podría funcionar si se hacen algunos ajustes; (3) es muy factible.

Por lo general estos primeros juicios se basan en la experiencia del diseñador, en los conocimientos que ha acumulado durante su vida profesional, en pocas palabras, en su “colmillo”. Algunas implicaciones que tienen estas primeras reacciones se describen en los siguientes párrafos:

1.- El concepto no es factible.- Antes de desechar un concepto es conveniente identificar las causas que motivan su rechazo dando respuestas a la pregunta: ¿Por qué no es factible? Las causas pueden ser diversas; por ejemplo, se puede tener la claridad de que tecnológicamente no es factible. Otra causa puede ser que a primera vista no se cumplen los requerimientos del cliente. También se puede deber a que el concepto es muy diferente a la manera en que se resuelve “normalmente” el problema. O bien, se trata de algo que no es original y no vale la pena tomarse en cuenta.

2.- Factibilidad condicional.- En ocasiones se considera que el concepto podría funcionar a condición de que algo suceda. Por ejemplo, que se pueda tener acceso a la tecnología implicada, que se logre obtener cierta información necesaria, o que pueda desarrollarse algún componente del producto.

3.- Concepto digno de consideración. Son aquellos conceptos que de entrada nos parecen que reúnen las características necesarias para pasar entre esta primera técnica de evaluación. Aquí juega un papel esencial los conocimientos y experiencias del diseñador; sin ellos no es posible estructurar un juicio coherente con las características del problema a resolver.

### 3-6 **Aplicación de la metodología del diseño conceptual para la herramienta de extracción de la marcha generadora**

En esta sección se empleará la metodología mencionado en la sección anterior para realizar un diseño conceptual de la herramienta para poder cumplir con las metas de diseño que se obtuvieron en la sección del QFD dichas metas se encuentran en la Tabla 2.7 Metas de diseño.

#### 3-6.1 **Clarificación de los requerimientos del cliente**

En esta etapa se utiliza las metas de diseño obtenidas en el QFD para poder así clarificar los requerimientos del cliente.

Tabla 2.7 Metas de diseño

unidad	Cóndores	Laboratorio	diseño
min	30	40	30
Kg	2	0.8	1
geometría	no es sencilla	No es sencilla	Simple
proceso	Forja	Fundición	maquinado
material	Sin perdida	Sin perdida	Sin perdida
pulgadas	1/100	1/100	1/100
min	20	40	20
Piezas	3	6	3
min	30	30	30
meses	2 a 3	2 a 3	1 a 2

Que su tiempo de fabricación sea de 1 a 2 meses, con una manufactura sencilla utilizando la materia, maquinaria y el herramental, para su fabricación y dimensionamiento sea más comercial y fácil de conseguir, que las condiciones de tiempo para el ensamblado y la colocación sean en el menor tiempo posible.

### 3-6.2 **Función global de servicio del producto**

Función global de servicio del producto:

Para nuestro caso la función global que realizara nuestro sistema (figura 3.10) es extraer el rodamiento.

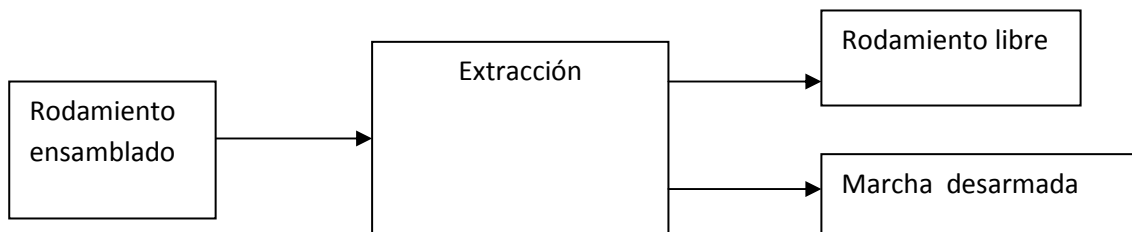


Figura 3.10 función general del sistema.

### 3-7 **Limites del sistema**

Los límites del sistema están determinados por las acciones que realiza el operador, el operador mismo, el rodamiento y un elemento mecánico con el cual se aplicara una fuerza, estos se muestran en la figura 3.11.

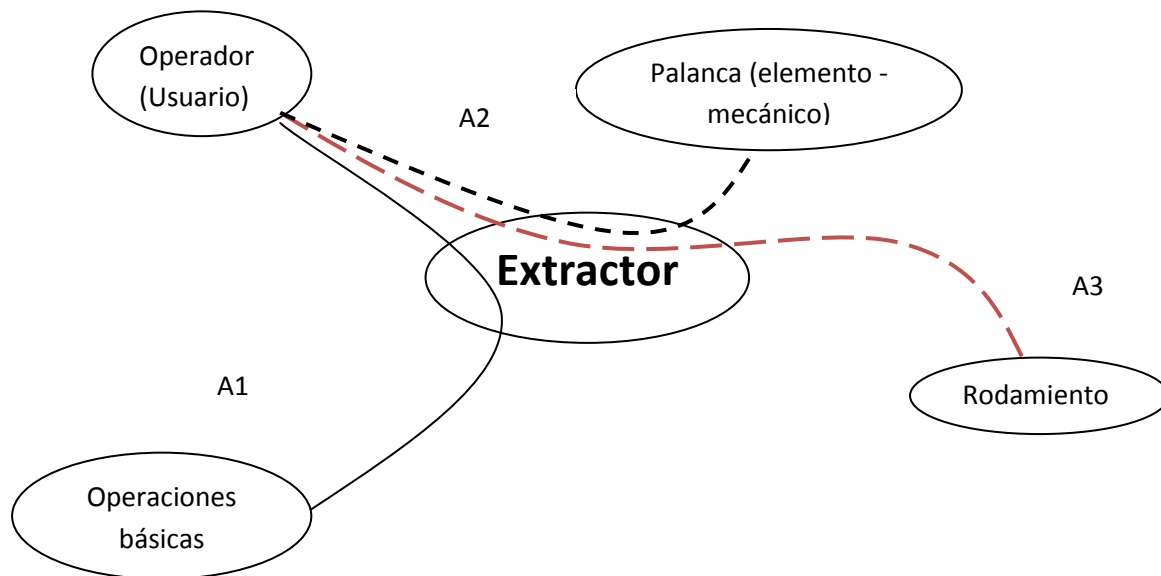


Figura 3.11 límites del sistema.

### **Funciones de servicio**

Las funciones de servicio para el extractor mostradas en la figura anterior se listan a continuación, sin que el orden de la numeración implique un orden cronológico en que las funciones tienen lugar.

A1: El operador coloca, ajusta, apoya la herramienta (realiza las operaciones básicas).

A2: El operador ejerce una fuerza.

A3: El operador extrae el rodamiento.

De las funciones de servicio listadas arriba, la A3, denominada “El operador extraer el rodamiento”, es la que da sentido a la existencia del producto llamado extractor, las demás son complementarias de la función global.

### **Función global:**

La función global es la siguiente A3: El operador extraer el rodamiento.

Función de uso: Dichas funciones son las que se muestran en la tabla 3.10 con su respectiva clasificación.

Tabla 3.3 Funciones de servicio

Función de servicio	Por naturaleza	Función de uso	<ul style="list-style-type: none"><li>• El operador coloca, ajusta, apoya la herramienta.</li><li>• El operador ejerce una fuerza.</li></ul>
	Por su importancia	Función global	<ul style="list-style-type: none"><li>• El operador extrae el rodamiento.</li></ul>

### **3-7.1**

#### **Funciones técnicas**

Como se menciona en la sección correspondiente a este sistema se trata como una caja negra en esta sección la caja negra se convierte en caja transparente (figura 3.13).

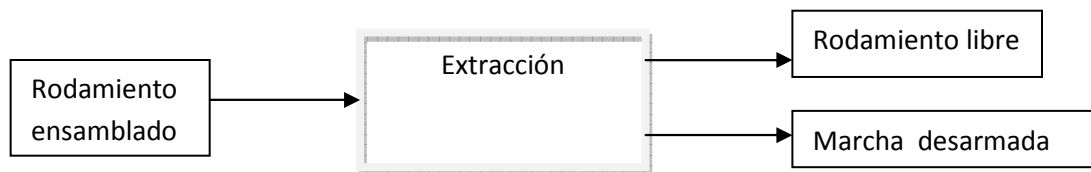


Figura 3.12 Función general del sistema

En esta parte del diseño se desarrolla lo que es la función global del sistema (figura 3.13).

### 3-7.2 | Análisis funcional descendente

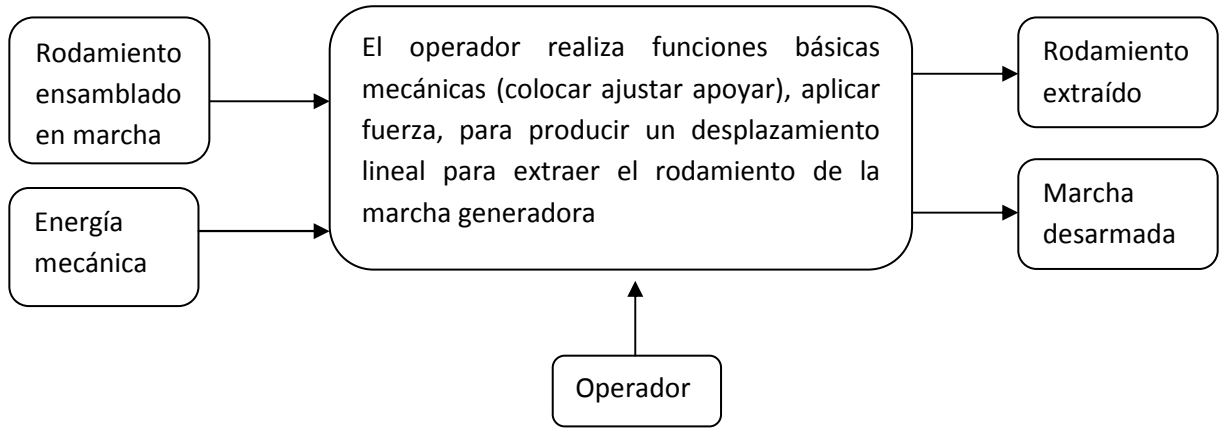


Figura 3.13 Función global de operación

Descomposición por niveles.

A continuación se presentan gráficamente las funciones que se descomponen de la función global como lo es el colocar, apoyar, ajustar, etc. (figura 3.15).

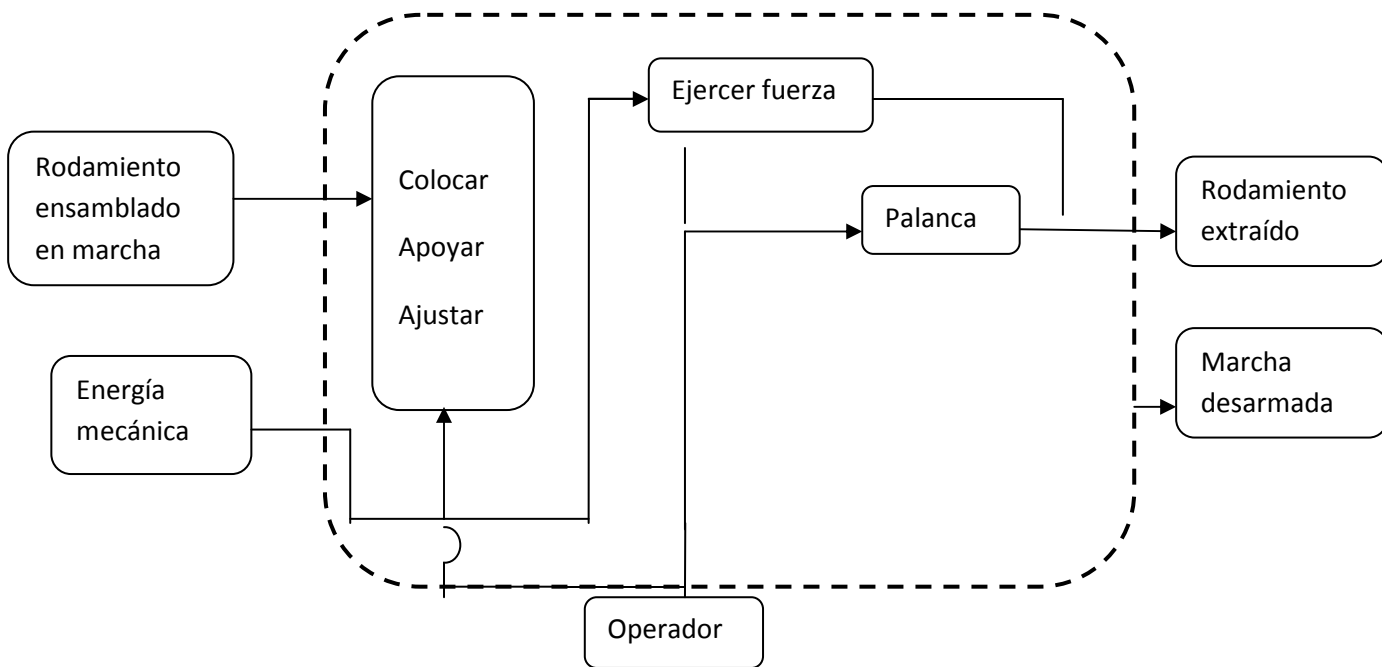


Figura 3.14 descomposición descendente



### 3-8 || Generación de conceptos -- Matrices morfológicas

Aplicando la metodología para generar conceptos por matrices morfológicas se procede a lo siguiente:

Realizar una tabla de la cual obtendremos las combinaciones o posibilidades de diseño, como se menciona en la sección 3-4-1. El número de posibilidades de diseño está en función del número de cuadros obtenido en la matriz morfológica en este caso se tiene que las posibilidades de diseño son de:

$$\frac{P(10,4)}{N} = 25200$$

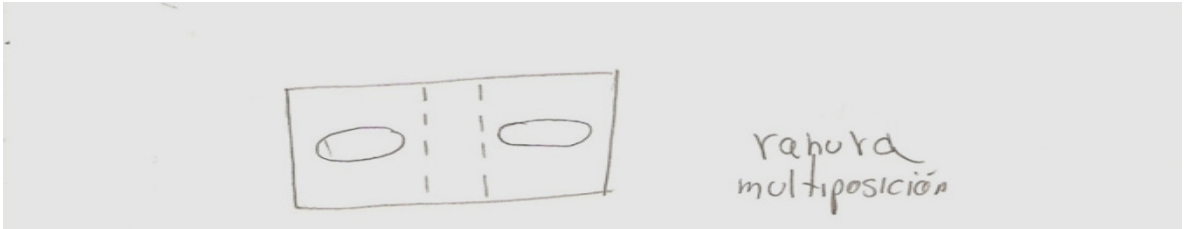
25200 combinación que solo una será la más conveniente según los requerimientos del cliente.

Tabla 3.4 Matriz morfológica

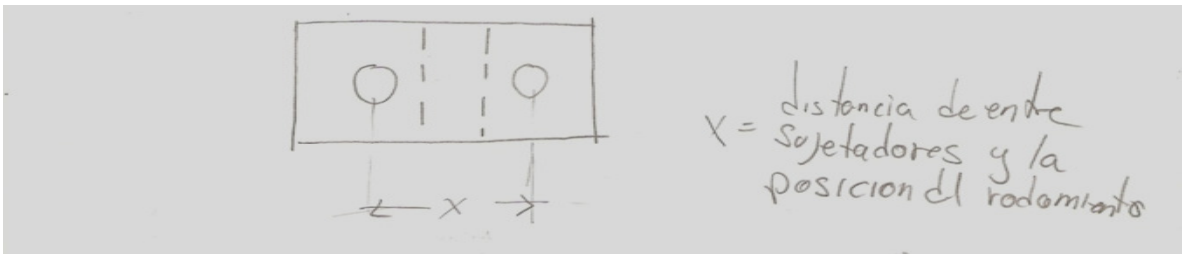
		¿Cómo?				
¿Qué?	Ajustador	Recto	Cónico	Semi-cónico	Curvilínea	escalonado
	Apoyo	Cono	Plano	Trapezio		
	Apriete	Tornillo Allen	Tornillo hexagonal	Orificio y palanca		
	Soporte	Ranura	Posición exacta	2 posiciones	3 posiciones	

A continuación se muestran los conceptos de forma gráfica para obtener así una mejor visión de lo que se está proponiendo.

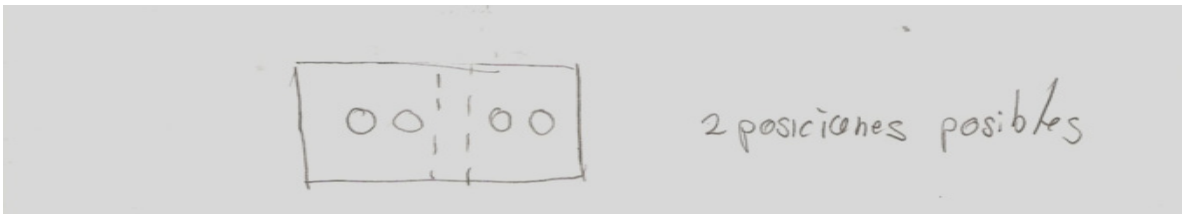
Soporte



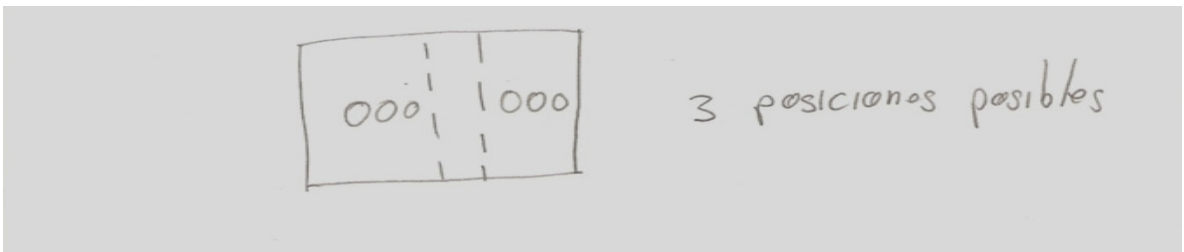
Soporte 1



Soporte 2

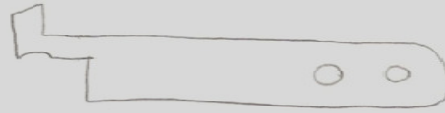


Soporte 3



Soporte 4

## Ajustador



Corte solo la punta

Ajustador 1



en cono

Ajustador 2



escalonado

Ajustador 3



recto-conico

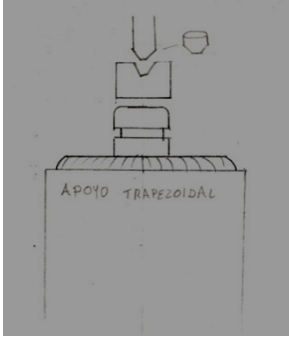
Ajustador 4



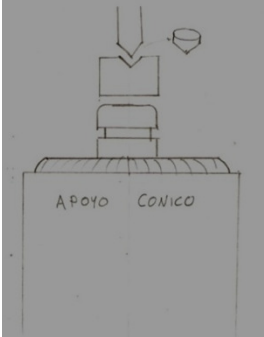
curvilinea

Ajustador 5

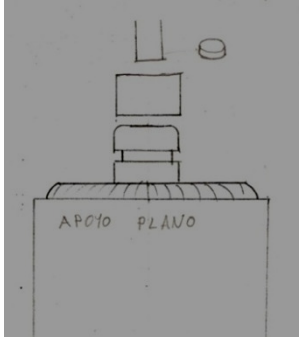
Apoyo



Apoyo 1

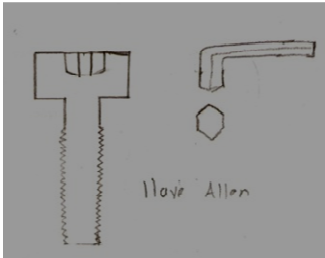


Apoyo 2

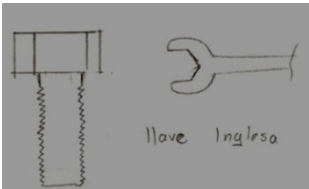


Apoyo3

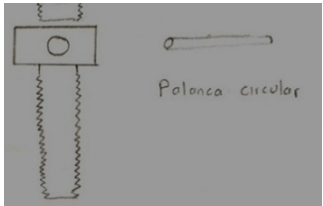
Apriete



Apriete 1



Apriete 2



Apriete 3

3-9

## **Evaluación de conceptos**

Como se mencionó anteriormente de estas combinaciones empezamos a descartar los conceptos menos favorables para solo que dar con la más optima.

### Evaluación por factibilidad

Esta forma de evaluar se basa en la experiencia, y consiste en descartar aquellos conceptos que de entrada se sabe que no son factibles.

Apriete 2

Apoyo 2

Apoyo3

Ajustador 4

Ajustador 5

Ajustador 2

Ajustador 1

Soporte 3

Soporte 4

Soporte 2

Así concluimos y llegamos a un diseño conceptual más apegado a los requerimientos del cliente en la figura 3.17 se muestra como que da la selección de los cuadros en la matriz morfológica.

El resultado del diseño conceptual que da de la siguiente manera.

Tabla 3.5 Selección de formas.

		¿Cómo?				
¿Qué?	Ajustador	Recto	Cónico	Semi-cónico	Curvilínea	escalonado
	Apoyo	Cono	Plano	Trapezio		
	Apriete	Tornillo Allen	Tornillo hexagonal	Orificio y palanca		
	Soporte	Ranura	Posición exacta	2 posiciones	3 posiciones	

La propuesta queda de la siguiente manera en la siguiente figura:

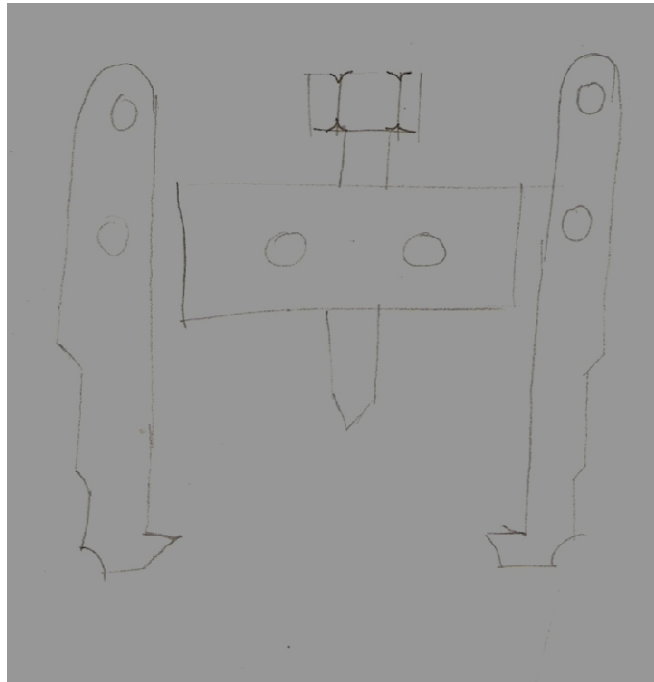
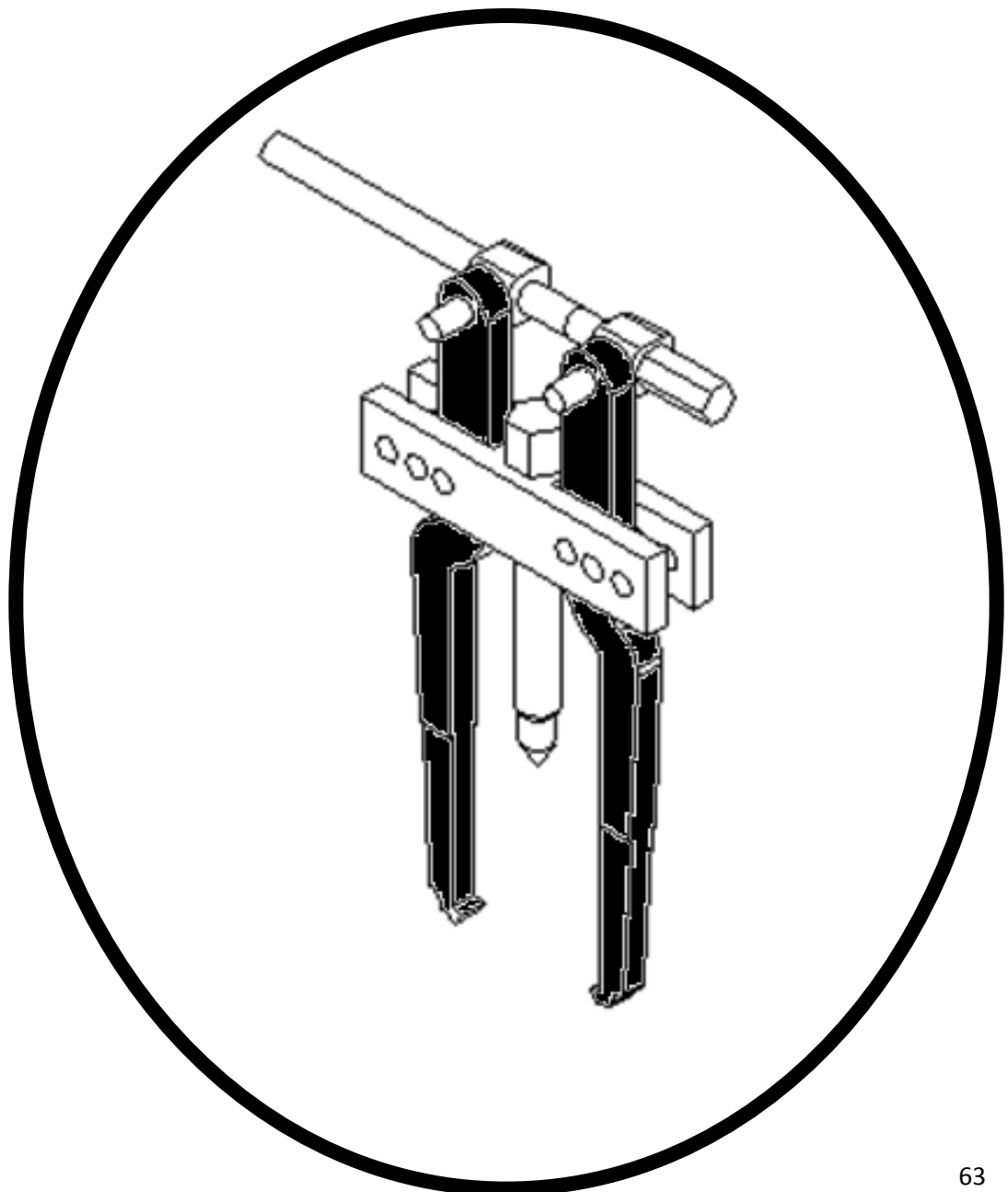


Figura 3.15 resultado de diseño conceptual

# CAPÍTULO 4

Diseño de detalle

---



## Introducción

En este capítulo se muestran los cálculos obtenidos de la herramienta extractora de rodamientos, la geometría de referencia es de una ya existente, se hizo porque no hay forma de extraer el rodamiento y no se tienen los medios para hacerlo, teniendo la posibilidad de tener acceso a las zonas de contacto se pueden determinar geometrías únicamente mediante los manuales de mantenimiento del motor.

Se tomaron las partes funcionales de la herramienta para estudiar su funcionalidad y posteriormente hacer todo el procedimiento que se ha venido siguiendo para finalmente llegar a una forma que permita un fácil maquinado de la misma.

En el capítulo se muestra la geometría original y las modificaciones hechas para un fácil maquinado, utilizando el taller de manufactura con el que cuenta ESIME Unidad TICOMAN para su fabricación (torno y fresadora), para elaborar una geometría que se pueda maquinar en esta escuela porque las maquinas no cuentan con la capacidad de tolerancias o en cuanto a formas.



## 4-1 | CÁLCULO DE LA CARGA EN EL RODAMIENTO

### 4-1.1 ESFUERZOS DEBIDOS A LOS AJUSTES POR INTERFERENCIA:

Estos se calculan considerando las partes a acoplar como cilindros de pared gruesa, de acuerdo a las ecuaciones [11]:

$$P_c = \frac{\delta}{d_c \left[ \frac{d_c^2 + d_i^2}{E_i(d_c^2 - d_i^2)} + \frac{d_0^2 + d_c^2}{E_o(d_0^2 - d_c^2)} - \frac{\mu_i}{E_i} + \frac{\mu_o}{E_o} \right]}$$

Ecuación 4.1

DONDE:

$P_c$ = Presión en la superficie de contacto (Psi)

$\delta$ = Interferencia total (plg)

$d_i$ = Diámetro interior del elemento interno (plg)

$d_c$ = Diámetro de la superficie de contacto

$d_o$ = Diámetro exterior del elemento externo (plg)

$\mu_o$ = Relación de poisson para el elemento externo

$\mu_i$ = Relación de poisson para el elemento interno

$E_o$ = Modulo de elasticidad del elemento externo  $\frac{lb}{plg^2}$

$E_i$ = Modulo de elasticidad del elemento interno  $\frac{lb}{plg^2}$

En la figura 4.1 se muestra un esquema del rodamiento (elemento externo) y la flecha (elemento interno) para localizar los diámetros del ajuste a calcular.

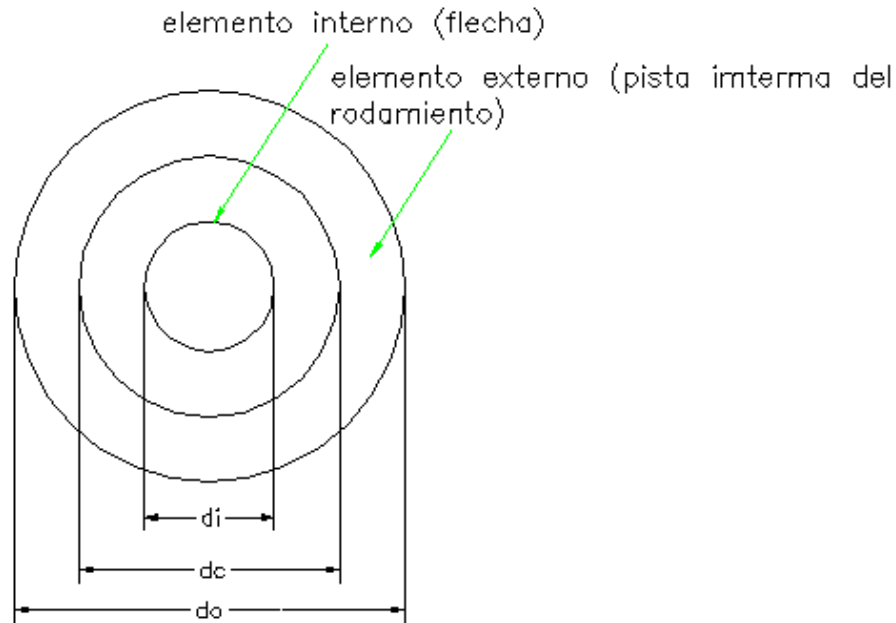


FIGURA 4.1 diámetros del ajuste con rodamiento en la marcha generadora

DONDE:

$\delta_i$  = Diámetro interno de la flecha

$\delta_c$  = Diámetro externo de la flecha

$\delta_o$  = Diámetro interno del rodamiento

Después de encontrarse los esfuerzos tangenciales reales (presión de contacto entre los elementos) en las diferentes superficies pueden determinarse por medio de las siguientes relaciones TABLA 4.1 y TABLA 4.2.

TABLA 4.1 Superficie de los diámetros

Esfuerzo sobre la superficie en $d_0$	$S_{t0} = \frac{2P_c d_c^2}{d_0^2 - d_c^2}$
Esfuerzo sobre la superficie en $d_c$ (elemento externo)	$S_{tc0} = P_c \left( \frac{d_0^2 + d_c^2}{d_0^2 - d_c^2} \right)$
Esfuerzo sobre la superficie en $d_c$ (elemento interno)	$S_{tci} = P_c \left( \frac{d_0^2 + d_i^2}{d_0^2 - d_i^2} \right)$
Esfuerzo sobre la superficie en $d_i$	$S_{ti} = \frac{2P_c d_c^2}{d_c^2 - d_i^2}$

Los esfuerzos tangenciales equivalentes en las diferentes superficies, se expresan así tabla 4.2:

TABLA 4.2 Superficie en los elementos

Superficie $d_0$ para elemento externo	$S'_{t0} = \frac{2P_c d_c^2}{d_0^2 - d_c^2}$
Superficie $d_c$ para elemento externo	$S'_{tc0} = P_c \left[ \frac{d_0^2 + d_c^2}{d_0^2 - d_c^2} + \mu_0 \right]$
Superficie $d_c$ para elemento interno	$S'_{tci} = -P_c \left[ \frac{d_0^2 + d_c^2}{d_0^2 - d_c^2} - \mu_0 \right]$
Superficie $d_i$ para elemento interno	$S'_{ti} = -\frac{2P_c d_c^2}{d_c^2 - d_i^2}$

La fuerza axial máxima  $F_a$  requerida para montar un ajuste forzado varía directamente con:

- El espesor y longitud del elemento externo.
- La diferencia de diámetros entre las dos partes (elemento externo y elemento interno).
- Coeficiente de rozamiento entre los materiales.

La fuerza axial se expresa así:

$$F_a = f\pi dlP_c$$

DONDE:

F<sub>a</sub>= Es la fuerza axial (lbs)

D= Diámetro nominal del eje

f= Coeficiente de rozamiento (Tabla 4.4)

l= Longitud del elemento externo

P<sub>c</sub>= Presión de contacto entre los elementos  $\frac{lb}{plg^2}$

## 4-1.2 || Ajustes de fuerza

Para las características del rodamiento se calcula el ajuste:

En la norma estándar ANSI B4.1 se definen cinco clases de ajustes de fuerza.

FN1, ajuste de impulso ligero: solo se requiere ligera presión para ensamblar piezas que embonan. Se utiliza para partes frágiles y donde no deben transmitirse fuerzas considerables mediante la unión.

FN2, ajuste de impulso medio: clase de propósito general que se emplea a menudo para piezas de acero cuya sección transversal es moderada.

FN3, ajuste de impulso pesado: se utiliza para piezas pesadas de acero.

FN4, ajuste de fuerza: se utiliza para ensambles de alta resistencia donde se requiere de altas presiones resultantes.

FN5, ajuste de fuerza: similar a FN4 para presiones más altas.

### 4-1.3 || Interferencia en el rodamiento

De acuerdo a los valores obtenidos en las tablas de ajustes ver (**ANEXO B**) con las condiciones para un ensamble con prensa (FN2) se determinan las interferencias mínima y máxima en el material de acuerdo para las tolerancias en la tabla 4.3 en este caso se hará el cálculo con la interferencia máxima que es la carga mayor de este tipo de ajuste:

Tabla 4.3 interferencias del tipo de ajuste (tipo FN2)

INTERFERENCIA (flecha)	
Máxima	Mínima
0.0012	0.0016

DATOS

Diámetros (véase Figura 4.1)

$$d_i = 0.46875 \text{ plg}$$

$$d_c = 0.84375 \text{ plg}$$

$$d_0 = 0.92 \text{ plg}$$

$$E_0 = 30 \times 10^6 \frac{lb}{pulg^2}$$

$$E_i = 19 \times 10^6 \frac{lb}{pulg^2}$$

$$v = 0.27$$

$$area = 1.3 \text{ pulg}^2$$

$$P_c = \frac{\delta}{2b \left[ \frac{1}{E_0} \left( \frac{d_c^2 + d_i^2}{d_c^2 - d_i^2} + v_0 \right) + \frac{1}{E_1} \left( \frac{d_0^2 + d_c^2}{d_0^2 - d_c^2} + v_i \right) \right]}$$

$$P_c = \frac{\delta}{d_c \left[ \frac{d_c^2 + d_i^2}{E_i(d_c^2 - d_i^2)} + \frac{d_0^2 + d_c^2}{E_0(d_0^2 - d_c^2)} - \frac{\mu_i}{E_i} + \frac{\mu_0}{E_0} \right]}$$

$$P_c = \frac{0.0016}{(0.8) \left[ \frac{0.843^2 + 0.468^2}{19e^6(0.8^2 - 0.4^2)} + \frac{0.92^2 + 0.843}{30e^6(0.92^2 - 0.84^2)} - \frac{0.27}{19e^6} + \frac{0.27}{30e^6} \right]}$$

$$P_c = 3945.24 \text{ lbs}$$

Para calcular la fuerza axial, es decir la fuerza con la que se extraerá el rodamiento es la siguiente:

$$F_a = f \pi d l P_c \text{ Donde:}$$

$$f = 0.57^1$$

$$d = 0.6 \text{ pulg}$$

$$l = 11/16 \text{ pulg}$$

$$P_c = 3945.24 \text{ lbs}$$

$$F_a = (0.57) \pi (0.6) \left( \frac{11}{16} \right) (3945.24)$$

$$F_a = 2914.22 \text{ lbs}$$

Tabla 4.4 coeficiente de rozamiento estático y cinético

Superficies en contacto	$\mu_s$	$\mu_k$
Cobre sobre acero	0.53	0.36
Acero sobre acero	0.74	0.57
Aluminio sobre acero	0.61	0.47
Caucho sobre concreto	1.0	0.8
Madera sobre madera	0.25-0.5	0.2
Madera encerada sobre nieve húmeda	0.14	0.1
Teflón sobre teflón	0.04	0.04
Articulaciones sinoviales en humanos	0.01	0.003

## 4-2 | ELEMENTO FINITO

El método de elementos finitos, es un método numérico para la solución de problemas de ingeniería hoy comúnmente empleado para la solución de problemas que involucran un alto grado de complejidad, de matemáticas aplicadas así como las fisicomatemáticas, ya que la gran mayoría de los problemas que se presentan en estas áreas, comúnmente involucran geometrías complejas, cargas no distribuidas y determinación de propiedades de materiales, por lo que generalmente no es posible obtener alguna solución analítica directamente de expresiones matemáticas.

Entre las áreas de la fisicomatemática y la ingeniería en las que el uso del método de los elementos finitos es aplicado para la solución de problemas destacan los siguientes: el análisis de estructura, problemas de transferencia de calor, flujo de fluidos, transporte de masa así como el cálculo de potencial electromagnético.

Se entiende por solución analítica a aquellas expresiones matemáticas que arrojan valores para alguna determinada incógnita, la cual es válida a lo largo del cuerpo estudiado y por tanto, es válida también en cualquier sección del cuerpo en un número infinito de locaciones dentro del cuerpo. Estas soluciones analíticas, generalmente requieren la solución de ecuaciones diferenciales ya sean parciales u ordinarias, las cuales, debido a que se analizan geometrías complejas, cargas no distribuidas y determinación de propiedades de materiales, no son posibles de resolver.

Sin embargo la formulación que se propone por medio del uso del método de elementos finitos, permite que el problema sea planteado como una serie de ecuaciones algebraicas simultaneas, en lugar de requerir la resolución de ecuaciones diferenciales complejas, pero, dado que el problema tiene que ser “discretizado”, este método numérico, al igual que todos los métodos numéricos, arrojan valores aproximados de las incógnitas en un numero finito de locaciones dentro del cuerpo, las cuales dependen directamente, del número de elementos usados para la discretización de la pieza.

Discretización, es el proceso de modelación de un cuerpo que consiste en la división equivalente del mismo, en un sistema conformado por cuerpos más pequeños (elementos finitos) interconectados por medio de puntos comunes o nodos, los cuales forman superficies y se comportan como volúmenes de control independientes, los que a su vez son afectados por las condiciones de frontera que afecten al cuerpo estudiado como un todo.

Durante la aplicación del método de elementos finitos, en lugar de intentar resolver el problema como un todo en una sola operación, se divide el cuerpo del problema en un numero finito de elementos, los cuales a su vez se resuelven simultáneamente



y se obtiene el resultado de un todo conformado por cada resultado arrojado por los elementos finitos.

El software utilizado en este trabajo aplicando la carga máxima calculada sobre la herramienta es Solid Works, software de simulación donde determinaremos:

- Esfuerzos máximos (figura 4.2)
- Desplazamientos (figura 4.3)
- Deformaciones (figura 4.4)

#### **4-2.1 | Análisis por elemento finito**

El análisis por elemento finito como ya se mencionó con el software Solid Works para realizar los cálculos del material que se propuso, el acero AISI 9840, porque es un acero resistente y por sus propiedades mecánicas (véase tabla 4.6).

Se tomó la parte más crítica de la herramienta donde se concentra la mayor cantidad de esfuerzo que es donde pondremos mayor énfasis.

El procedimiento para este análisis de elemento finito involucra los siguientes pasos:

1.-Generar el dibujo del elemento:

El dibujo se realizó en mechanical desktop y posteriormente transportado a Solid Works.

2.-Seleccionar el tipo de elemento finito.

3.-Introducir las propiedades del material y de la geometría (tabla 4.9).

4.-Discretizar (dividir) la estructura o medio continuo en elementos finitos. Los programas de generación de malla, llamados preprocesadores, ayudan a hacer este trabajo.

5.-Aplicación de condiciones de frontera. Cargas y restricciones en análisis de estructuras (figura 4.2).

6.-Solución del sistema de ecuaciones algebraicas para determinar las respuestas.

7. mostrar los resultados. (Figuras 4.2, 4.3 y 4.4).

A continuación se muestra la tabla de unidades, las trabajaremos en Sistema internacional (tabla 4.5) por cuestión del software.

TABLA 4.5 Unidades empleadas para el análisis por elemento finito

Sistema de unidades:	SI
Longitud/Desplazamiento	m
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	rad/s
Tensión/Presión	N/m <sup>2</sup>

En la TABLA 4.6 se muestran las propiedades mecánicas del acero AISI 9840 para el análisis por elemento finito

PROPIEDADES MECANICAS	MÉTRICAS	ÍNGLES
Dureza, Brinell	361	361
Dureza, Rockwell B	100	100
Dureza, Rockwell C	40	40
Dureza, Vickers	382	382
Esfuerzo último ( $\sigma_u$ )	1240Mpa	180000psi
Esfuerzo de cedencia ( $\sigma_y$ )	1105Mpa	160300psi
Elongación	15.0%	15.0%i
Modulo de Elasticidad	200Gpa	29000Ksi
Relación de Poisson	0.29	0.29
Maquinabilidad	70%	70%

En la siguiente tabla se muestra las fuerzas en los tres ejes coordenados, la fuerza es aplicada sobre el eje y con el diseño geométrico de la pieza se tienen los siguientes resultados:

TABLA 4.17 Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N	-1.18132	11768.1	-0.398541	11768.1

TABLA 4.8 Resultados de estudio

Nombre	Tipo	Min.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	3108.07 N/m <sup>2</sup> Nodo: 36478	(210.962 mm, -79.2972 mm, 15.4584 mm)	1.63667e+009 N/m <sup>2</sup> Nodo: 35859	(211.665 mm, -338.32 mm, 17.8968 mm)
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 m Nodo: 1	(210.654 mm, -89.3775 mm, 11.8008 mm)	0.0021183 m Nodo: 190	(209.218 mm, -344.936 mm, 17.8968 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	7.08701e-008 Elemento: 18919	(210.55 mm, -79.5063 mm, 13.02 mm)	0.00617768 Elemento: 15194	(212.101 mm, -338.524 mm, 16.4229 mm)

Los resultados mostrados en la figura 4.2 indican que el material con el que se fabricara la herramienta tiene un límite elástico  $1.24 \times 10^9 \frac{N}{m^2}$  para un acero AISI 9840. Recordemos que el límite elástico es la zona plástica donde el material trabaja sin sufrir deformaciones permanentes.

El esfuerzo máximo obtenido mediante las cargas expuestas en el análisis (900 Kg). Recuérdese que el análisis se hizo en sistema métrico debido al software utilizado (Solid Works). Se tiene un esfuerzo máximo en las puntas haciendo referencia a la figura 4.2 de  $6.128 \times 10^8 \frac{N}{m^2}$ .

Y para asegurarse que la herramienta no fallará el límite elástico debe ser mayor al esfuerzo máximo en el material este esfuerzo es por el ajuste calculado en el rodamiento y se puede expresar:

$$F.S. = \frac{\text{esfuerzo maximo}}{\text{limite elástico}} = \frac{1.24 \times 10^9 \frac{N}{m^2}}{6.218 \times 10^8 \frac{N}{m^2}} = 1.99$$

Como se observa el material no fallará, por lo expuesto en la ecuación puede soportar la herramienta dos veces la carga para la que fue diseñada.

A continuación se muestra gráficamente los cálculos obtenidos por el análisis de elemento finito, en los barrenos se colocaron las restricciones (figura 4.2), y es un análisis estático aplicando la fuerza para el tipo de ajuste (FN2), entre el rodamiento y la marcha.

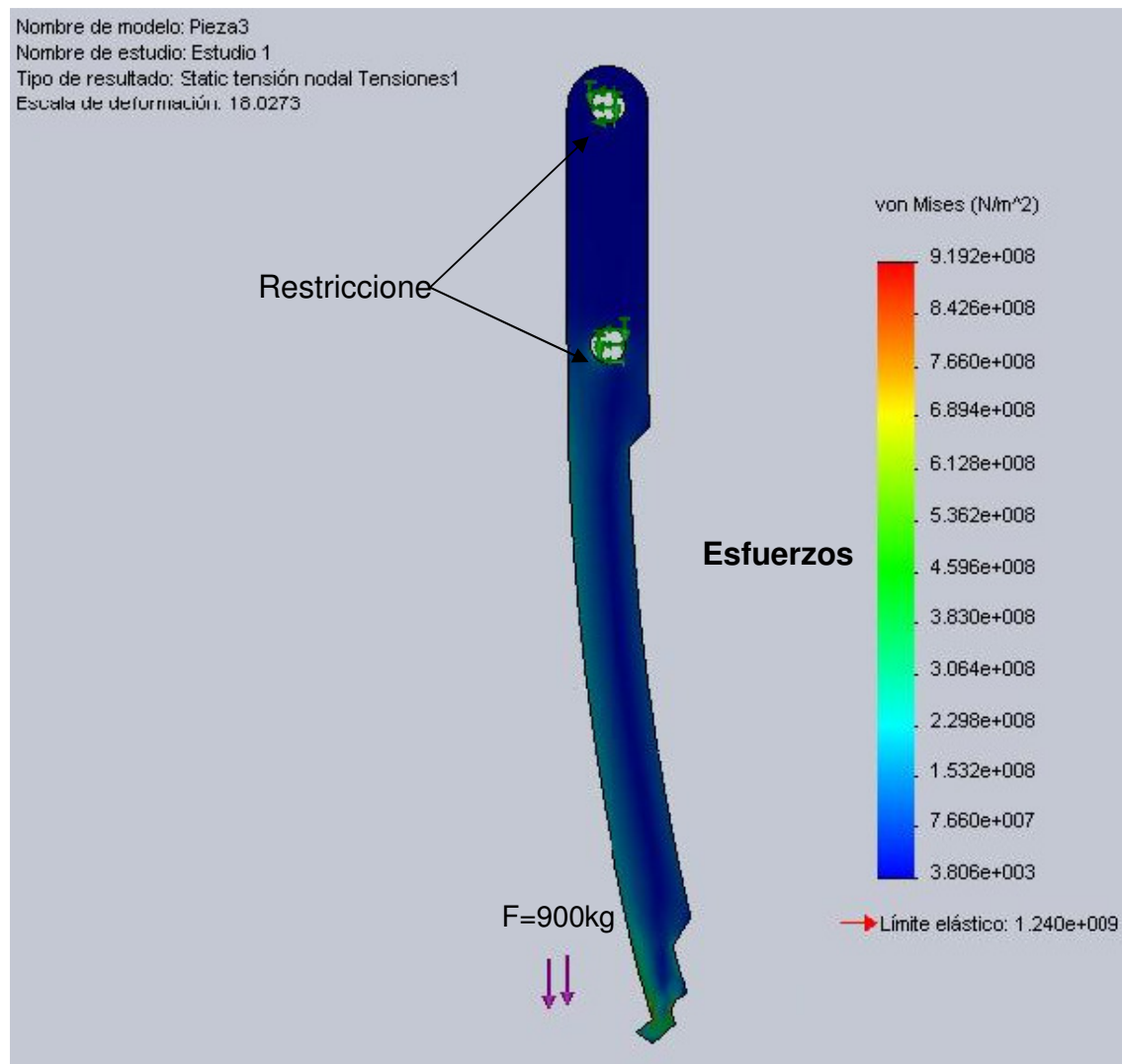


Figura 4.2 Estudio de tensiones

En esta imagen se muestran los esfuerzos de Von mises, aplicando una carga distribuida en el punto A de la figura, tabla de esfuerzos se muestra del lado derecho de la imagen.

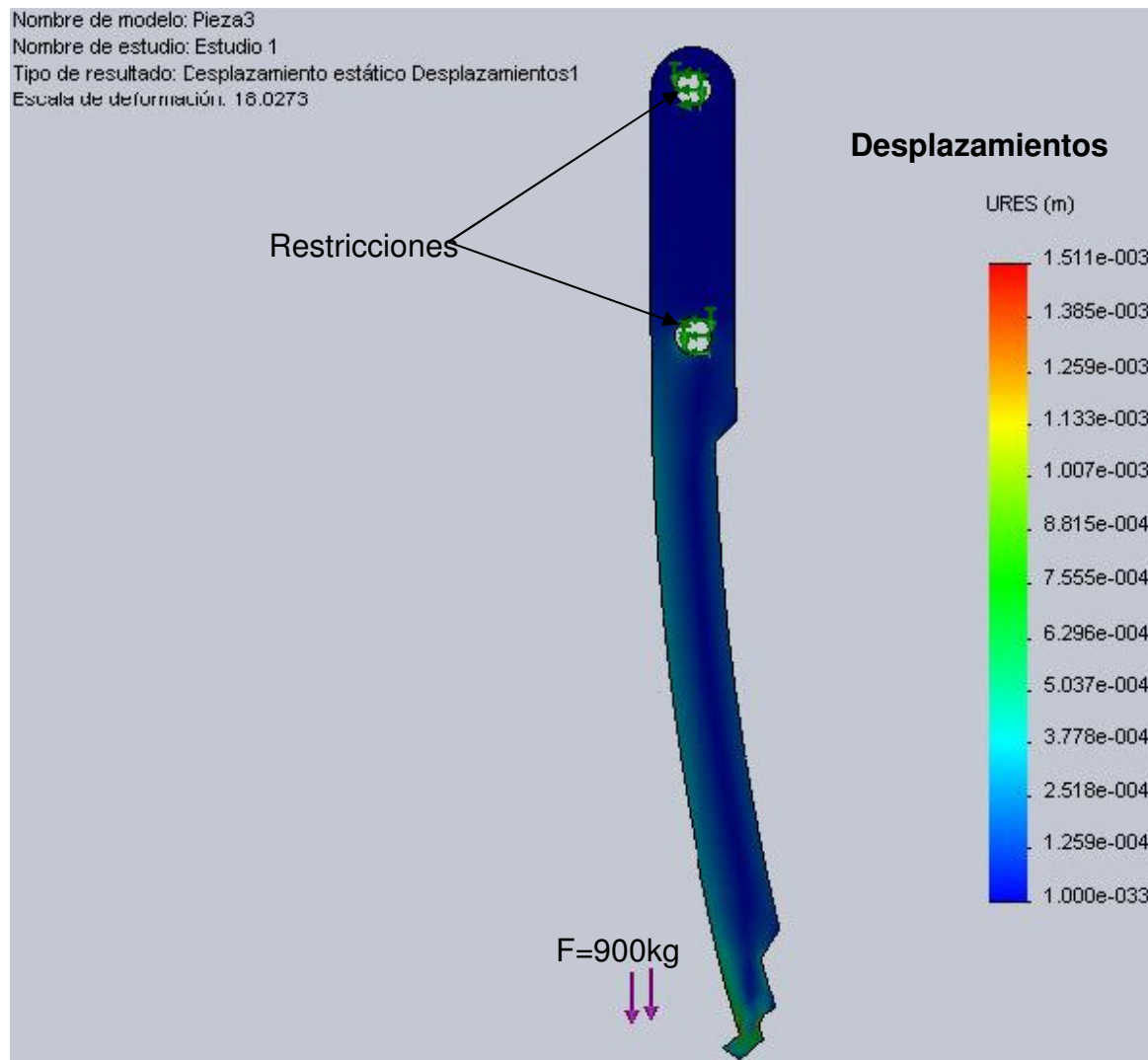


FIGURA 4.3 Estudio de desplazamientos

En esta imagen se muestran los desplazamientos en la parte sujetadora del perno de nuestra herramienta.

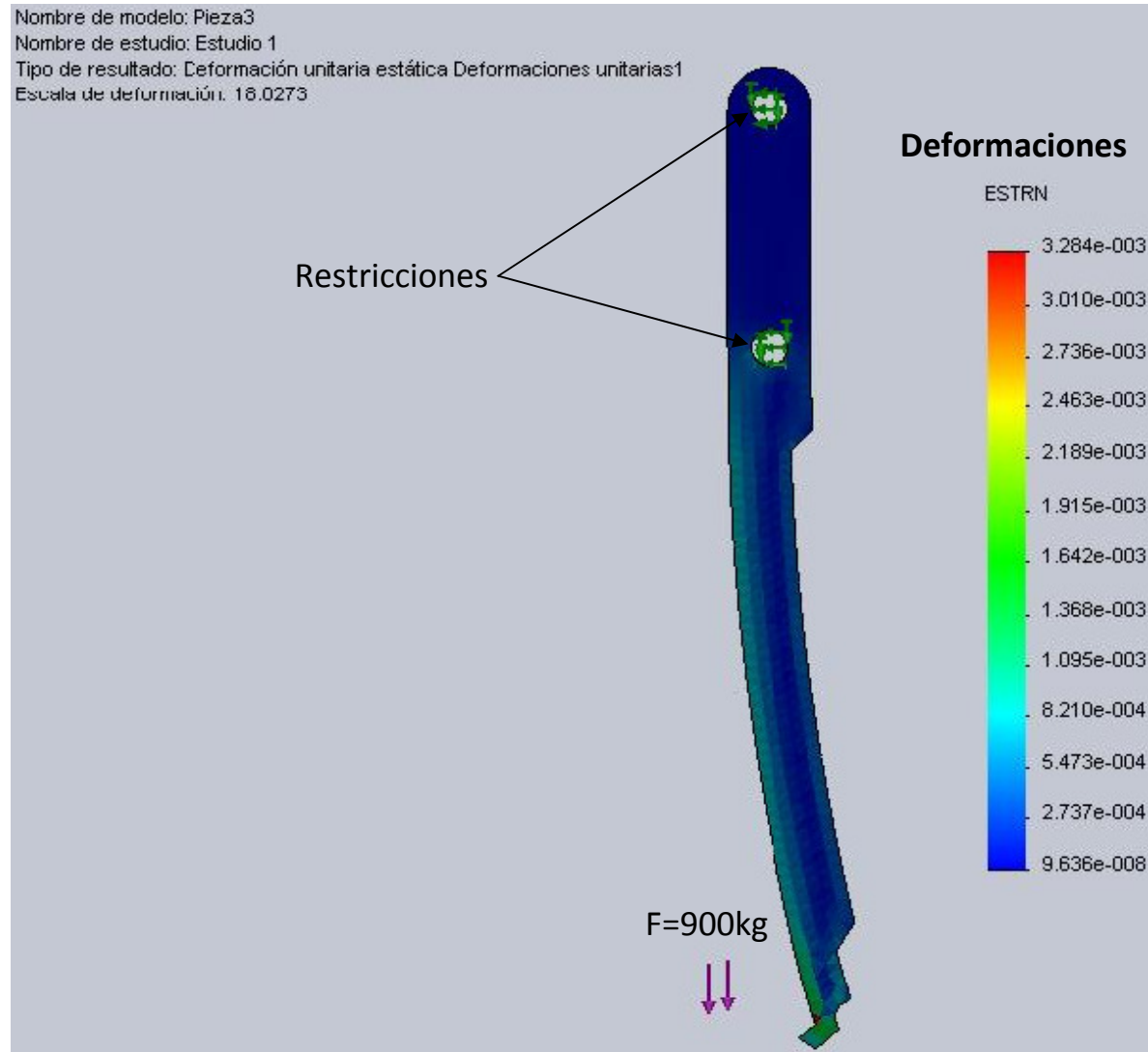


FIGURA 4.4 DEFORMACIONES UNITARIA

En la siguiente imagen se muestran las deformaciones unitarias.

## 4-3 MODIFICACIONES

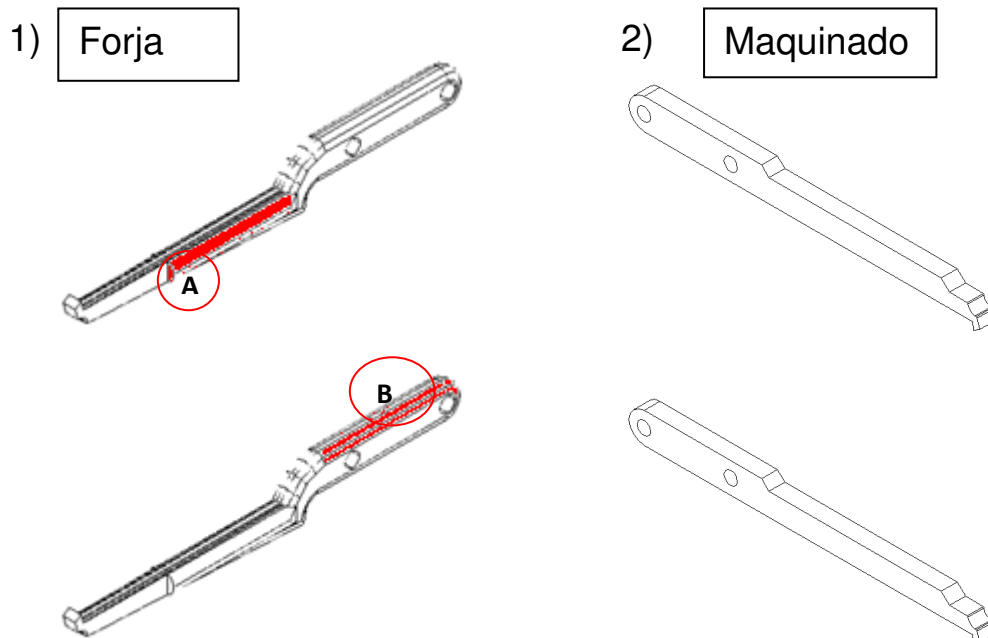
A continuación se presentan cambios en dos elementos de nuestra herramienta, comparándola con la original, de la cual partimos para nuestro diseño, estas modificaciones se hicieron de modo que se pueda fabricar con los medios que se tienen a nuestro alcance en la ESIME U.P. Ticoman, únicamente con maquinas convencionales (tornos y fresadoras).

PIEZA 1:

Detalle A) La geometría marcada en este detalle es un refuerzo que lleva la original hecha mediante forja, la de fabricación se hizo completamente recta por lo complicado que puede llegar a ser al fabricar en tornos convencionales.

Detalle B) El biselado en el contorno de la herramienta por forja se hizo recto en nuestro diseño.

Detalle C) La geometría circular se rediseño completamente recta.



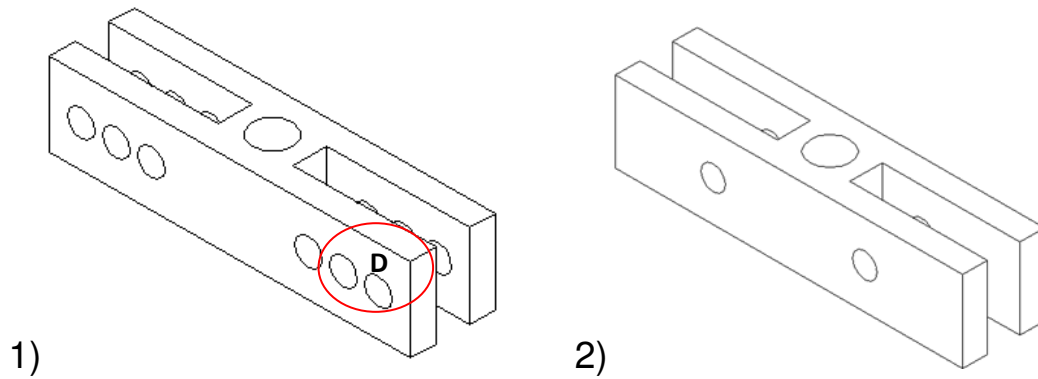




Para visualizar mejor los cambios obtenidos consultar dibujos (sección A y B).

## PIEZA 2:

Detalle D) Los tres barrenos que se tienen en la figura 1 es para extraer el rodamiento en tres tipos diferentes de marchas generadoras, como se cuenta únicamente con un solo tipo de marcha en ESIME U.P. Ticoman, solo se tomo el barreno para el tipo de marcha por la que fue diseñada esta herramienta, dejando un excedente de material para futuras necesidades.



## 4-4 | PLANOS

### SECCIÓN A:

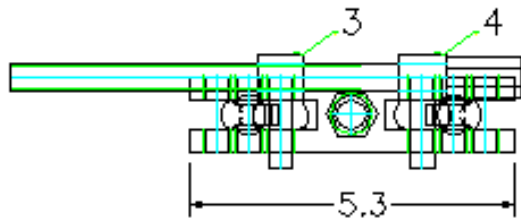
A continuación se muestran los dibujos de la herramienta a fabricar:

Los dibujos con número de parte (LAE) por sus siglas: “Verificación metrológica del Extractor” de rodamientos, son las dimensiones extraídas de la herramienta de la cual se baso para sacar el diseño.

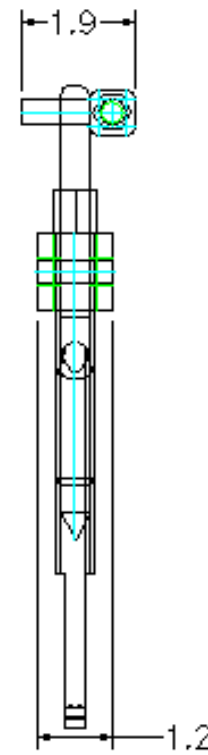
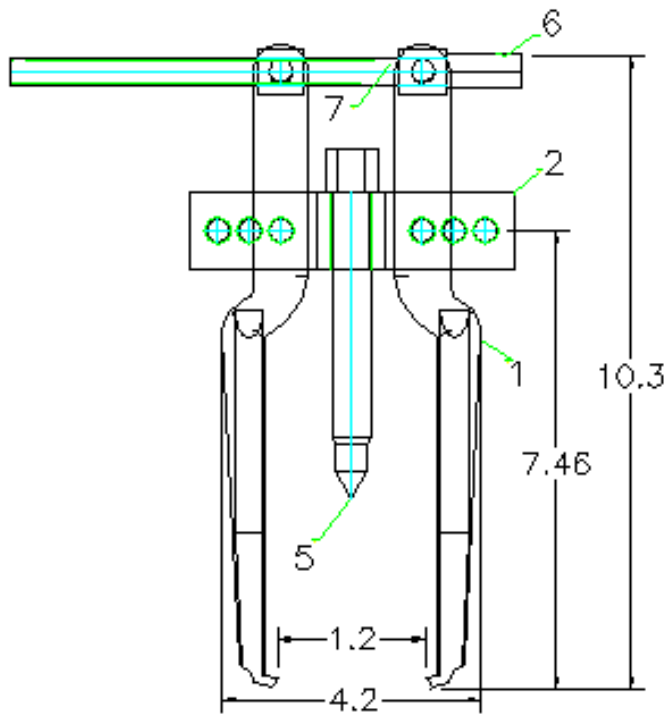
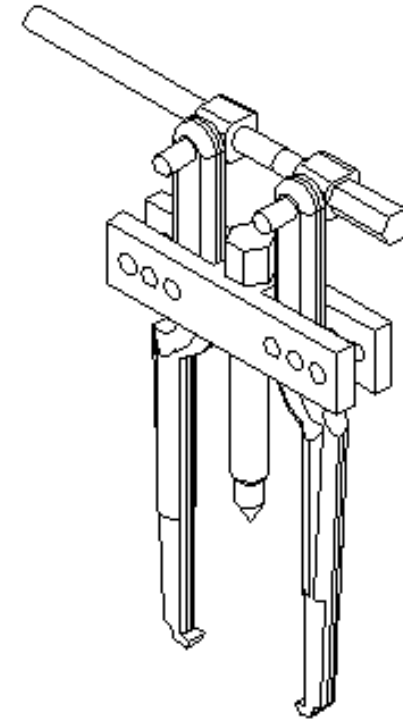
### SECCIÓN B:

Se muestran los planos de los dibujos de la herramienta a fabricar con numero de parte (FHE) para la cual los cambios ya fueron presentados, las tolerancias estan indicadas en fracciones de pulgada.



El promedio de rugosidad para la sección B se puede observar en el **ANEXO C**.



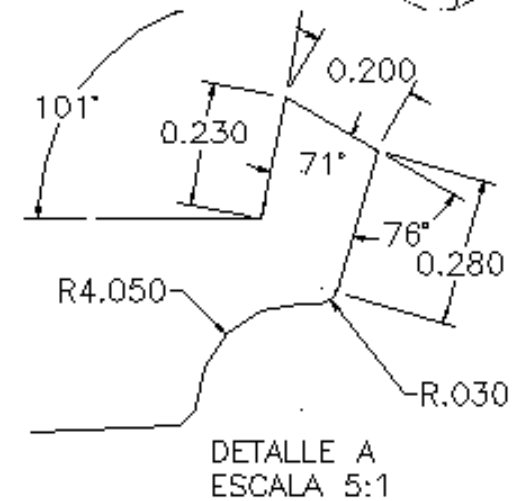
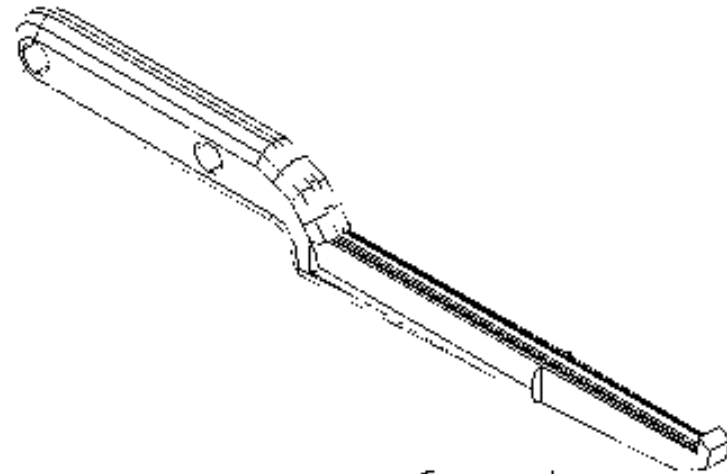
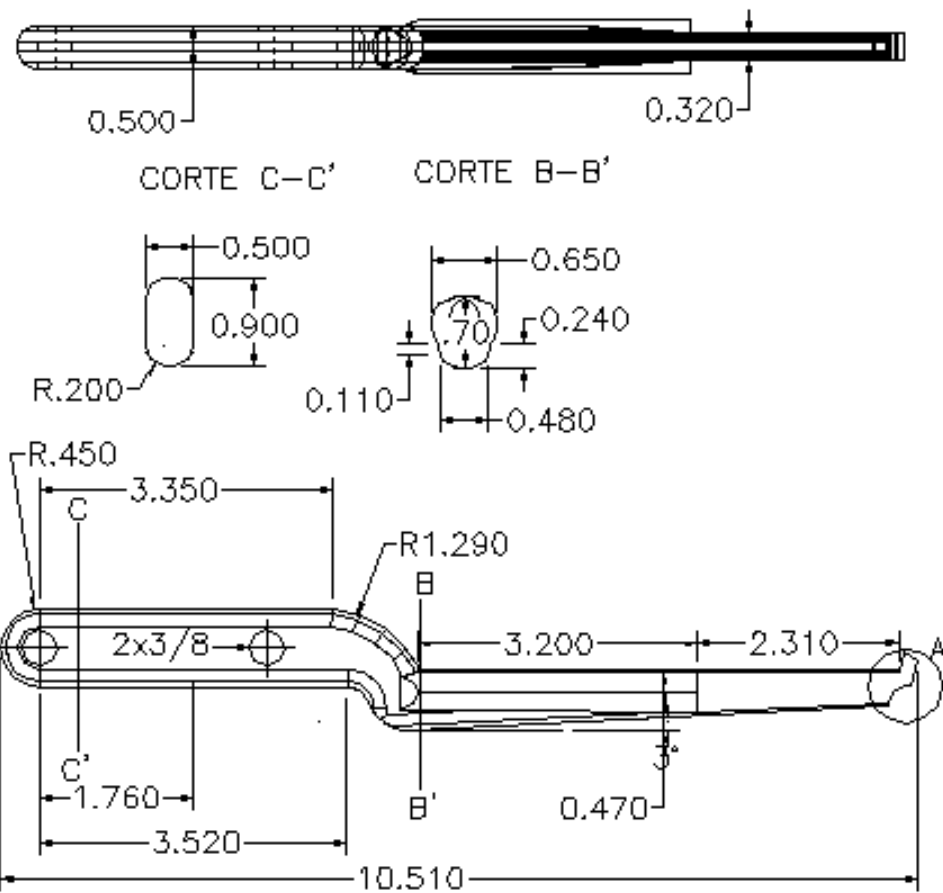
### SECCIÓN A



7	1	PRISIONERO	LAE-08
6	1	TORNILLO_AJUSTADOR	LAE-07
5	1	TORNILLO_EXTRACTOR	LAE-06
4	1	TORNILLO2	LAE-05
3	1	TORNILLO1	LAE-04
2	1	SOPORTE	LAE-03
1	2	SLUETADOR	LAE-02
POS.	CANT.	DESIGNACIÓN	NO. DE PARTE

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES		
DISÑO: N.BAEZ_F.GARCIA	REVISO: M.SALCEDO	APROVÓ: M.SALCEDO_E.VARGAS	FECHA: JUNIO-2009	ESCALA: SIN	ACOT: PULG.
			<b>ENSAMBLE_EXTRACTOR</b>		
<b>EXTRACTOR</b>			NO. DE PARTE LAE-11		

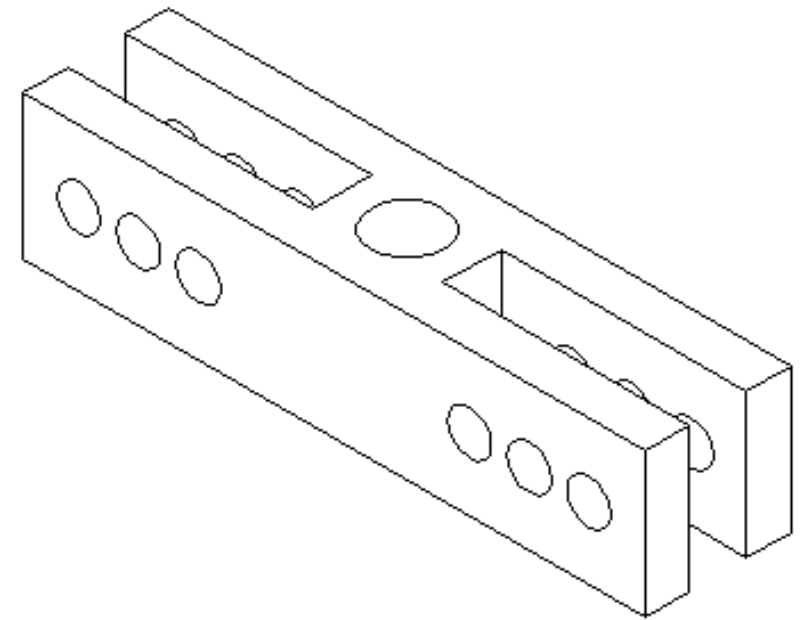
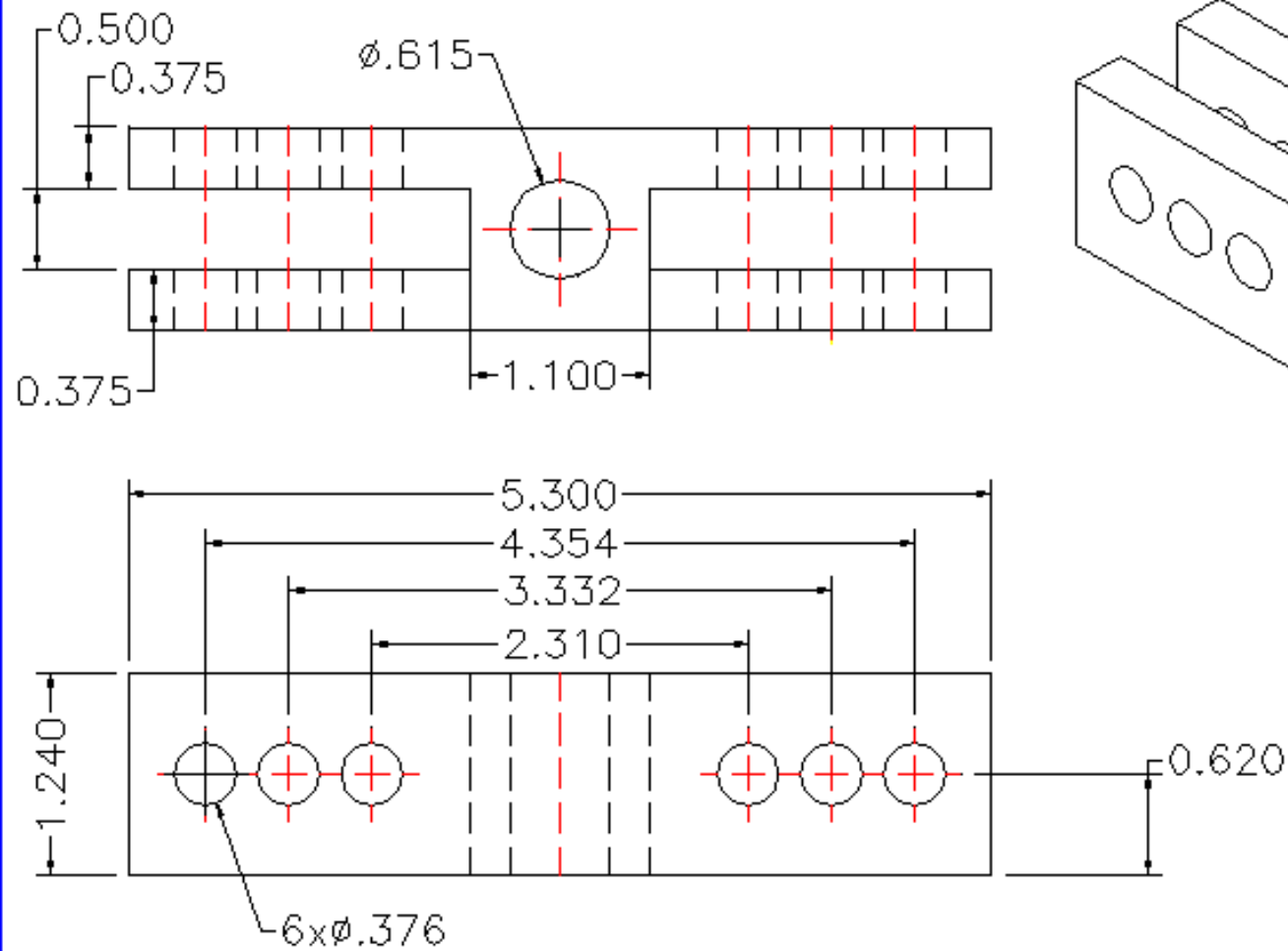
herramienta original  
"cortesia Córdoros"






MATERIAL:  
ACERO AISI 9840

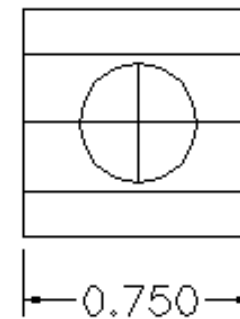
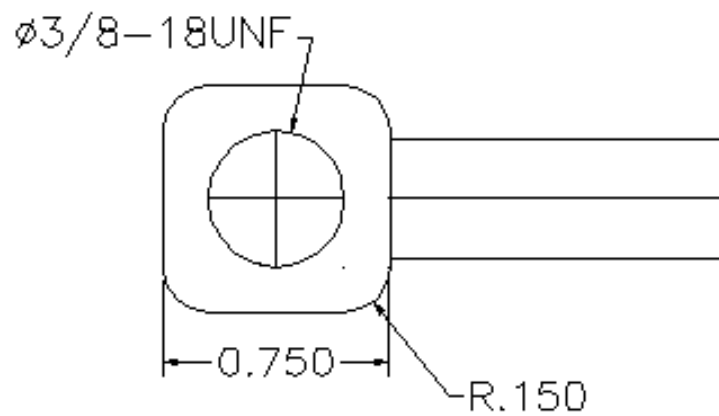
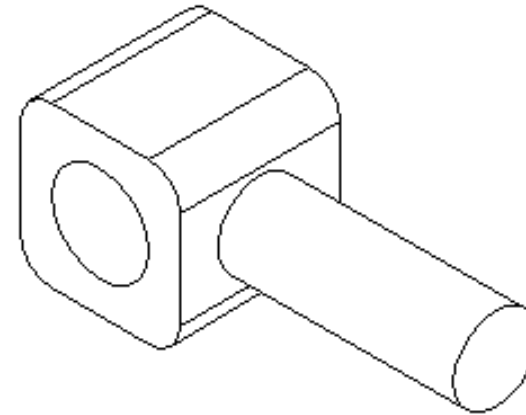
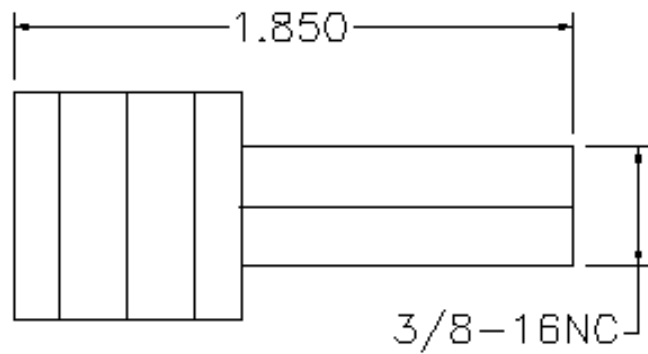
POS_1	CANT_2	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	
DISEÑO: N.BAEZ_F.GARCÍA	REVISÓ: N.SALCEDO	APROBÓ: N.SALCEDO_E.VARGAS	FECHA: JUNIO-2019	ESCALA: SIN
ACOT: PULG.		<b>SUJETADOR</b>		
EXTRACTOR_SUJETADOR		NO. DE PARTE LAE-12		







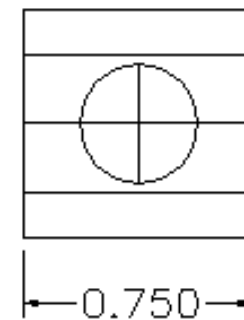
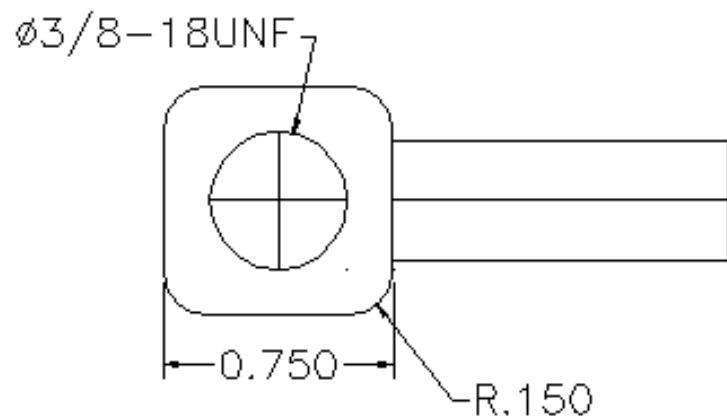
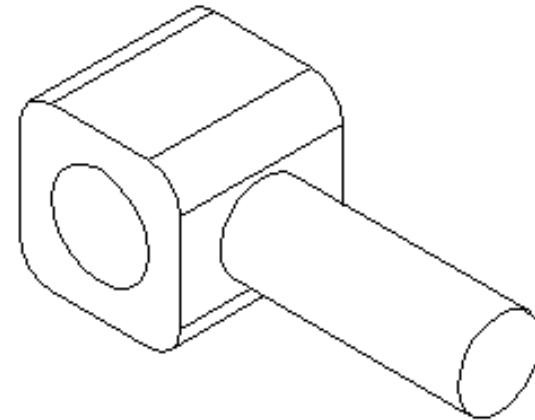
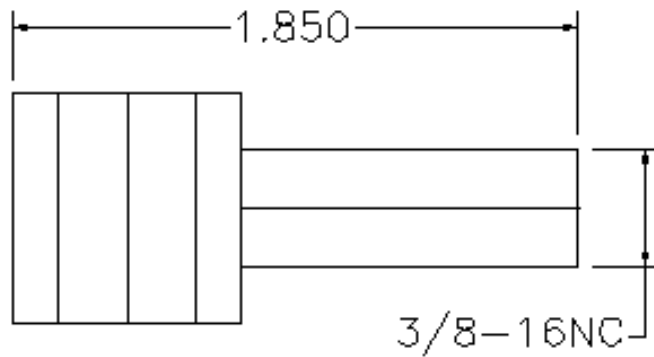
MATERIAL:  
ACERO AISI 4140

POS. 2	CANT. 1	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES:		
DISEÑO: N.BAET_F.BARDA	REVISÓ: M.SALCEDO	APROBÓ: H.SALCEDO_E.VARGAS	FECHA: JUNIO-2019	ESCALA: 5/8	ACOT: PULG
  			<b>SOPORTE</b>		
EXTRACTOR_BASE				NO. DE PARTE LAE-43	





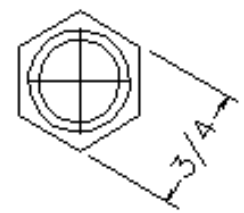
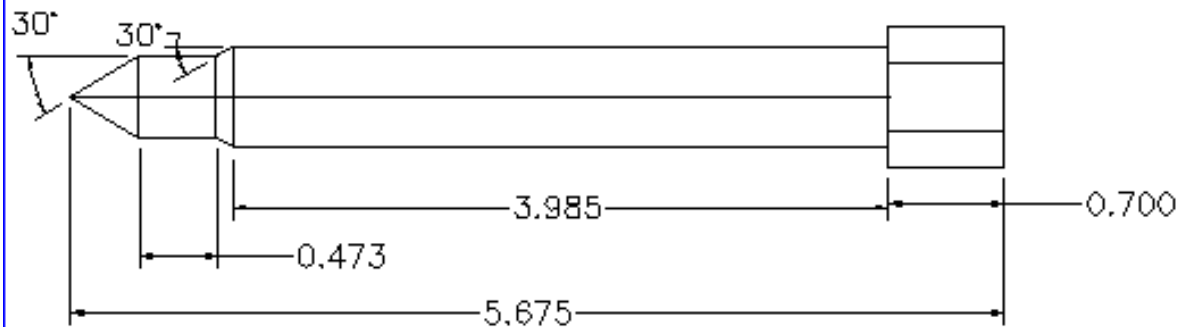
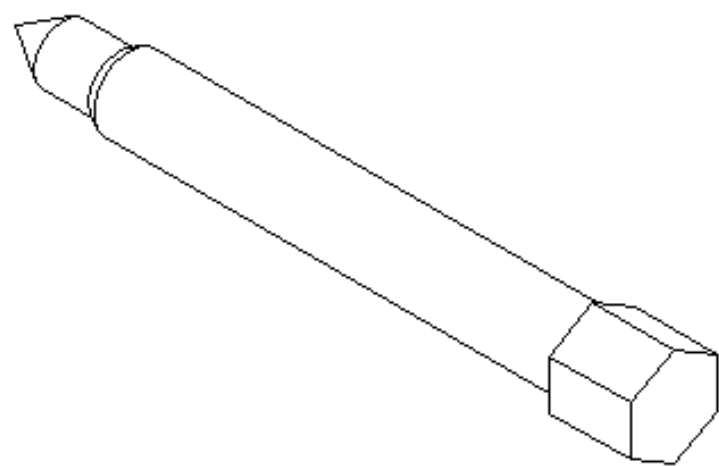
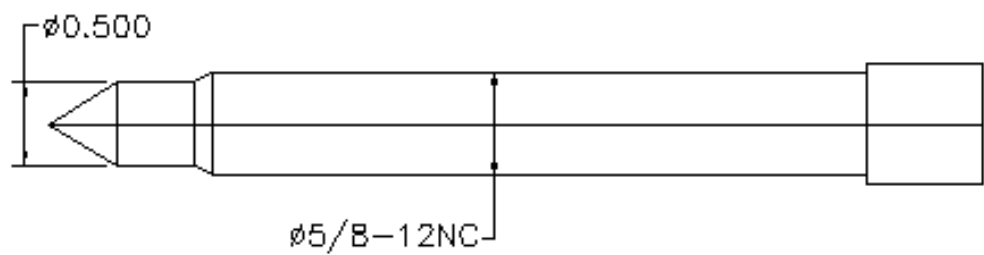
MATERIAL:  
ACERO AISI 4140

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES:		
DISEÑO: N.BAEZ_F.GARDA	REVISÓ: M.SALCEDO	APROVÓ: N.SALCEDO_E.VARGAS	FECHA: JUNIO-2019	ESCALA: SIN	ACOT: PULG.
			<b>TORNILLO1</b>		
			EXTRACTOR_TORNILLO1	NO. DE PARTE RHE-14	



MATERIAL:  
ACERO AISI 4140

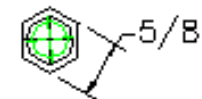
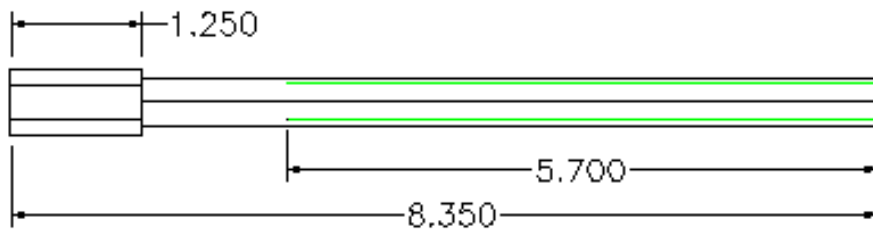
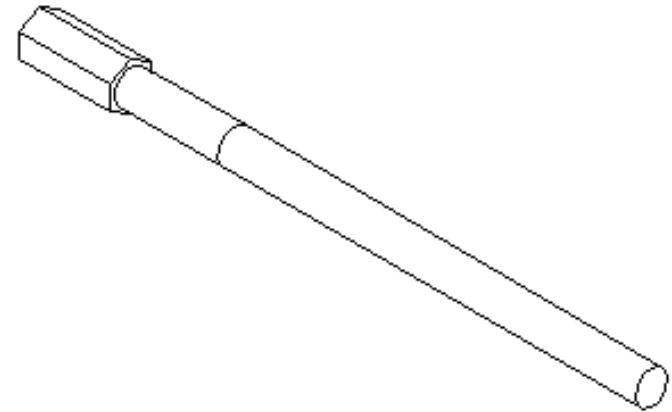
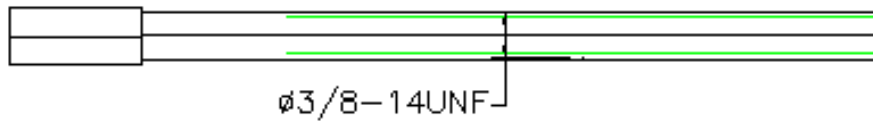
POS._3	CANT._1	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES		
DISEÑO M.BAEZ	REVISÓ F.GARCIA	REVISÓ N.SALCEDO	APROVÓ N.SALCEDO	FECHA: JUNIO-2019	ESCALA: SIN
ESIME		 		<b>TORNILLO1</b>	
			EXTRACTOR_TORNILLO1		NO. DE PARTE FRE-14



MATERIAL:  
ACERO AISI 4140

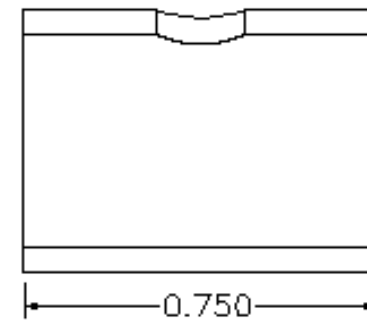
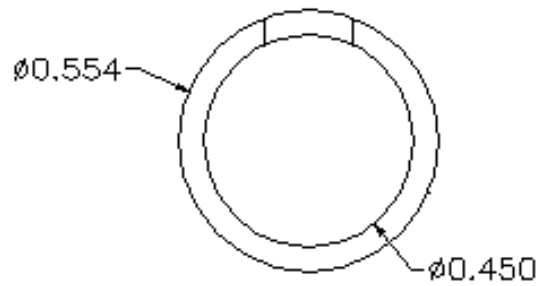
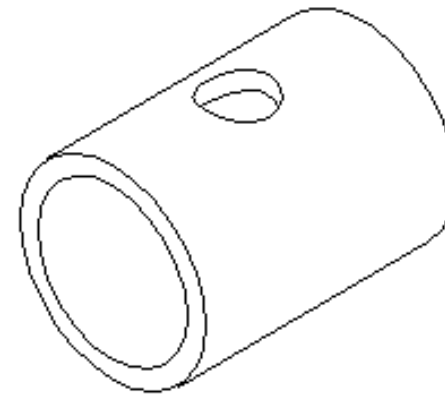
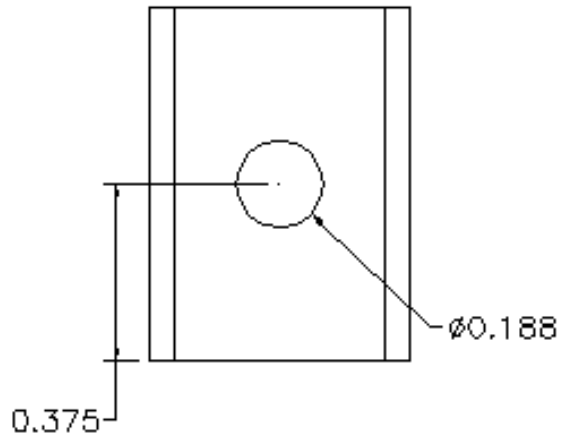
POS_5	CANT_1	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES:		
DISEÑO: N.SALCEDO	REVISÓ: M.SALCEDO	APROVÓ: N.SALCEDO, E.VARGAS	FECHA: JUNIO-2013	ESCALA: SIN	ACOT: PULG
	ESIME		TORNILLO_EXTRACTOR		
EXTRACTOR_TORNILLO2				NO. DE PARTE LAE-16	





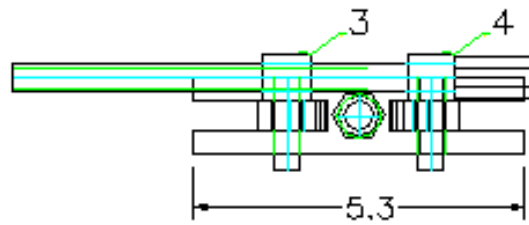
MATERIAL:  
ACERO AISI 4140

POS. 4	CANT. 1	DESCRIPCIÓN:	OBSERVACIONES:		
DISEÑO: M.BAEZ_F.GARCIA	REVISÓ: M.SALCEDO	APROVÓ: M.SALCEDO_E.VARGAS	FECHA: JUNIO-2019	ESCALA: SIN	ACOT: PULG.
	ESIME		<b>TORNILLO_AJUSTADOR</b>		
			EXTRACTOR_T.AJUSTADOR		NÚM. DE PARTE LAE-17

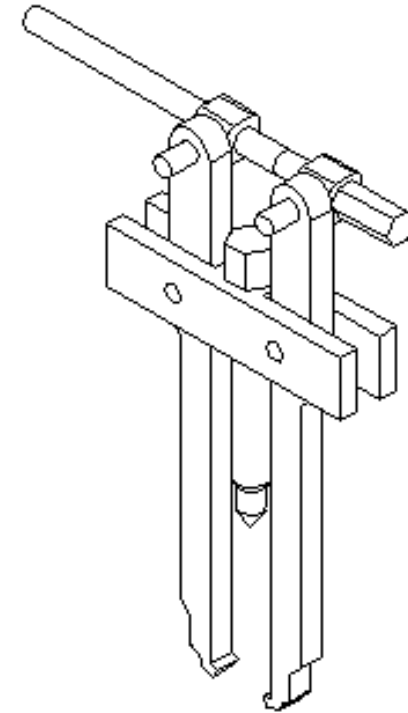
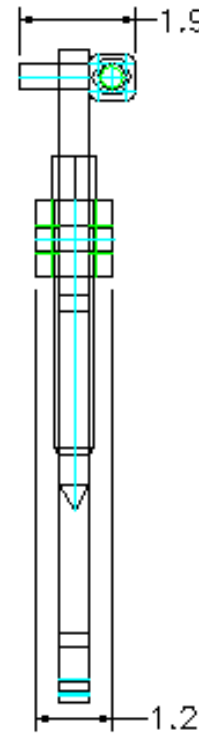
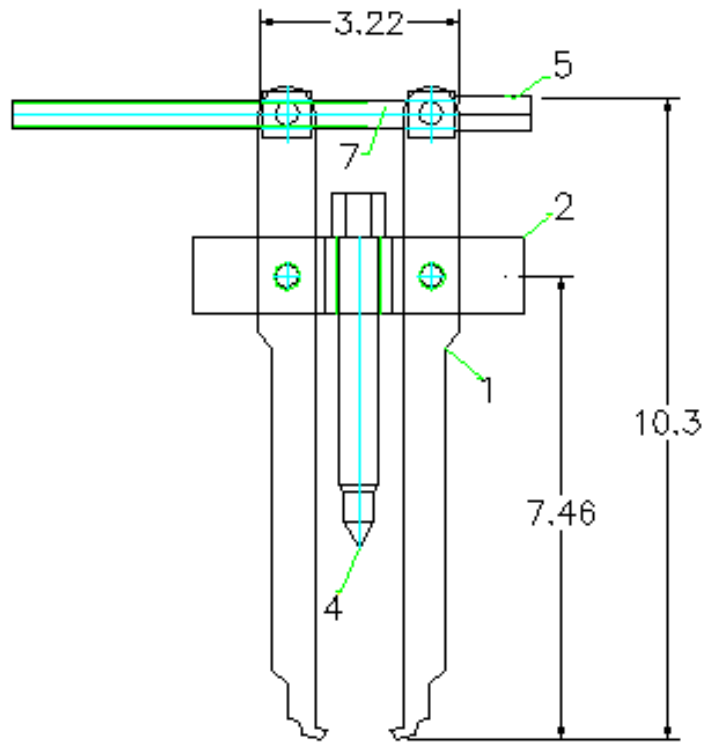


MATERIAL:  
ACERO AISI 4140

POS.?	CANT.1	DESCRIPCIÓN:	OBSERVACIONES:		
DISEÑO: N.BAÑEZ, F.GARCÍA	REVISÓ: M.SALCEDO	APROBÓ: M.SALCEDO, E.VARGAS	FECHA: JUNIO-2019	ESCALA: 5/8"	ACOT: PULG.
	ESIME		<b>PRISIONERO</b>		
EXTRACTOR_PRISIONERO				NO. DE PARTE LAE-18	



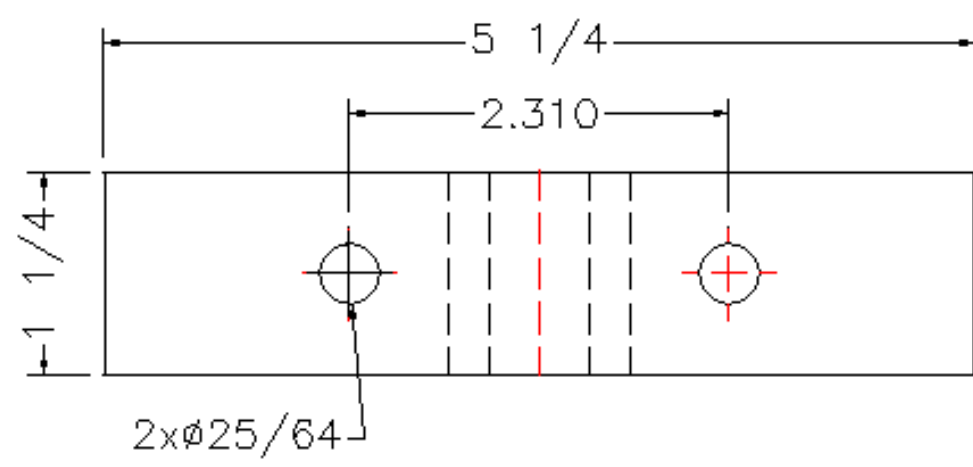
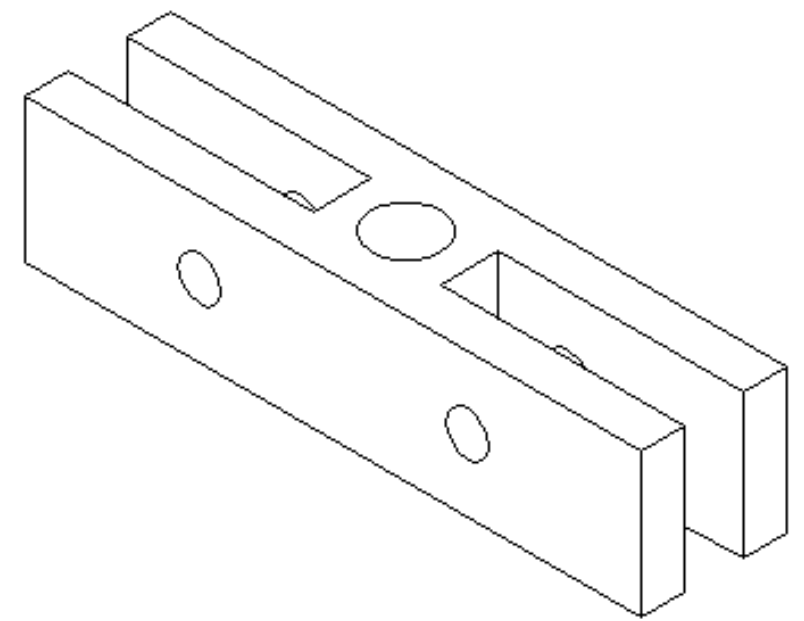
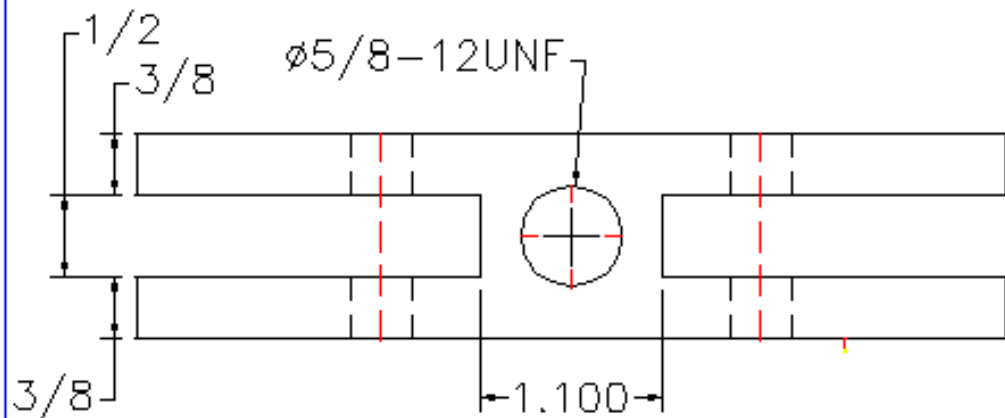
SECCIÓN B





HERRAMIENTA A FABRICAR

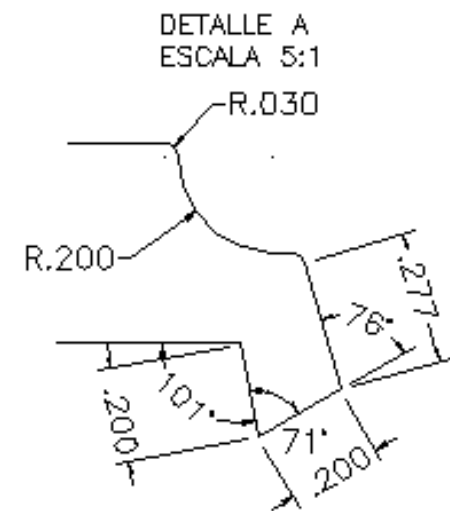
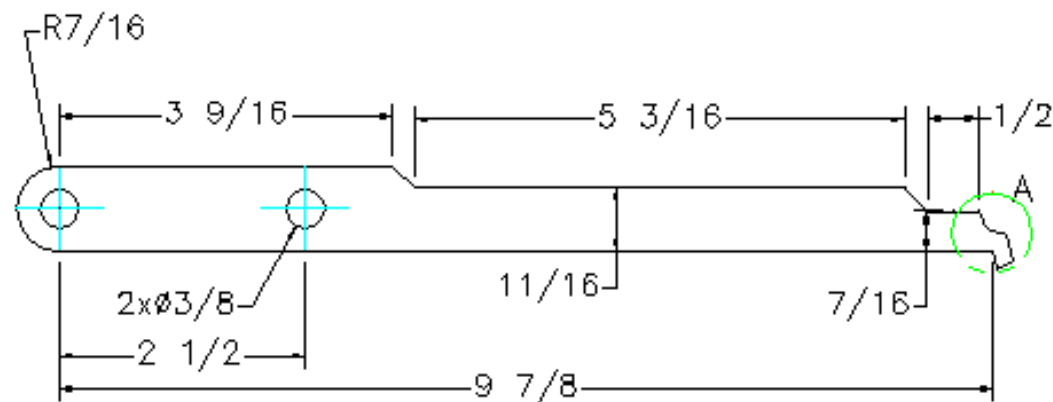
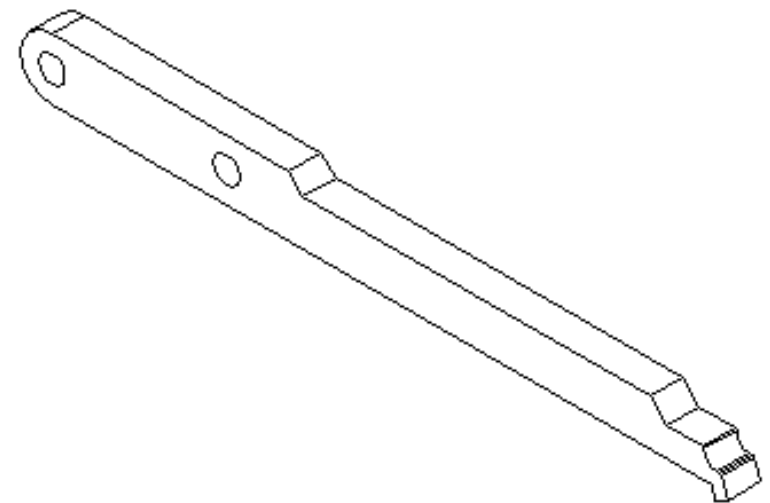
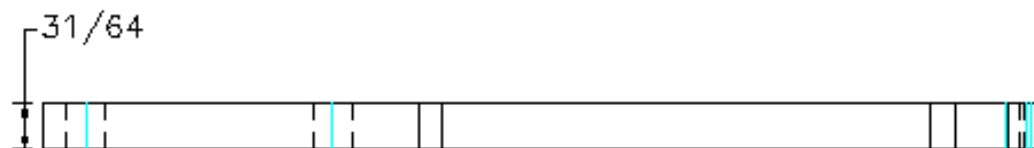
7	1	PRISIONERO	FHE-08
6	1	TORNILLO_AJUSTADOR	FHE-07
5	1	TORNILLO_EXTRACTOR	FHE-06
4	1	TORNILLO2	FHE-05
3	1	TORNILLO1	FHE-04
2	1	BASE	FHE-03
1	2	SUJETADOR	FHE-02
POS.	CAN.	DESIGNACIÓN	NO. DE PARTE

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES:		
DISEÑO: N.BAEZ_F.GARDA	REVISO: M.SALCEDO	APROVÓ: N.SALCEDO_E.VARGAS	FECHA: JUN0-2019	ESCALA: SN	ACOT: PULG.
			<b>ENSAMBLE_EXTRACTOR</b>		
			<b>EXTRACTOR</b>		NO. DE PARTE FHE-01



MATERIAL:  
 SOLERA ACERO AISI 4140 6"x1 1/4"x1 1/4"  
 TOLERANCIAS:  
 FRACCIONALES: +1/32  
 DECIMALES 0.000: ± 0.001  
 RUGOSIDADES NO ESPECIFICADAS: Ra 3.2

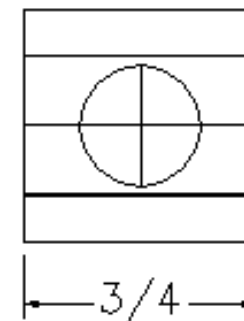
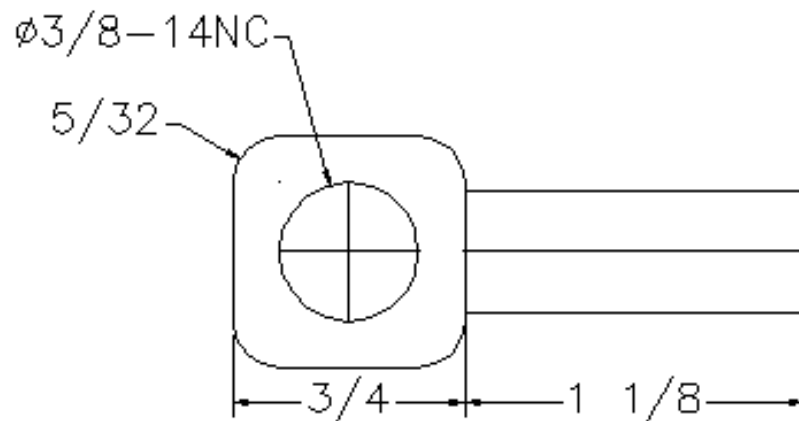
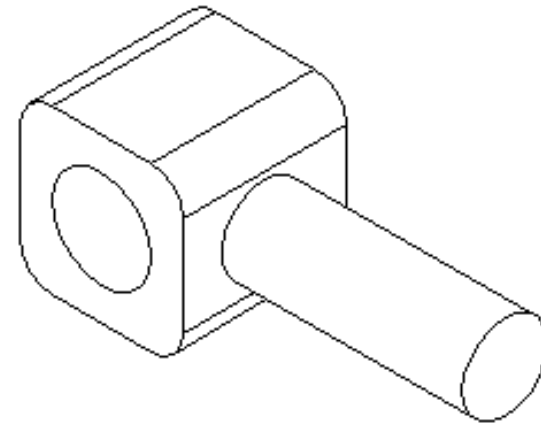
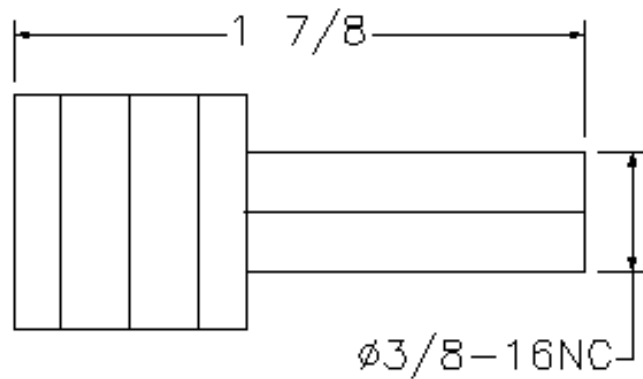
POS._2	CANT._1	DESCRIPCIÓN:	OBSERVACIONES:		
DISEÑO: N.BAEZ_F.GARCIA	REVISÓ: N.SALCEDO	APROVÓ: M.SALCEDO_E.VARGAS	FECHA: JUNIO-2019	ESCALA: SIN	ACOT: PULG
			<b>BASE</b>		
EXTRACTOR_BASE			NO. DE PARTE FHE-13		





TODAS LAS SUPERFICIES: Ra 0.8

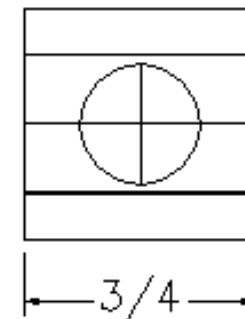
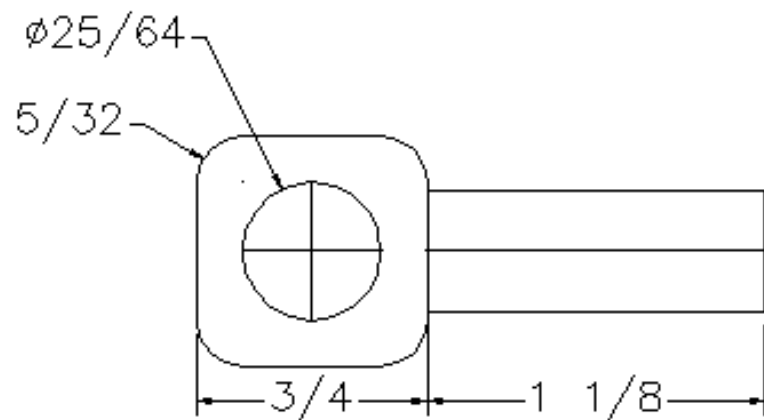
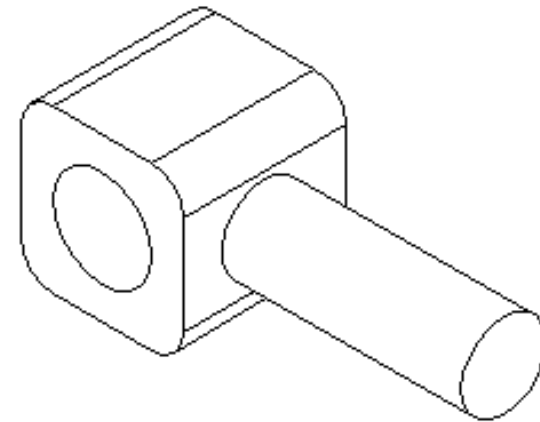
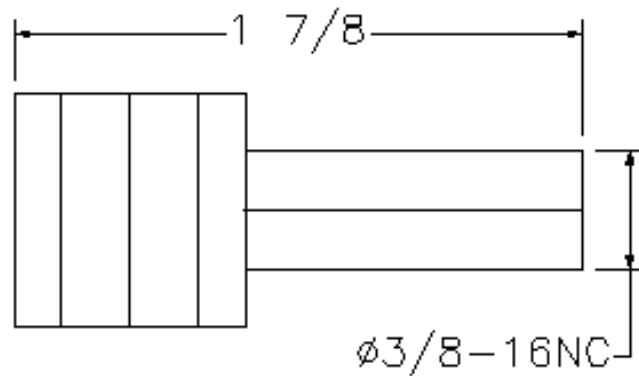
MATERIAL:  
 SOLERA ACERO AISI 9840 10"x1/2"x1"  
 TOLERANCIAS:  
 FRACCIONALES: ±1.02  
 DECIMALES 0.000: ±0.001 RUGOSIDADES NO ESPECIFICADAS: Ra 3.2

PDS_1	CANT_2	DESCRIPCIÓN:			OBSERVACIONES	
DISEÑO: M.BAEZ	F.GARCIA	REVISÓ: M.SALCEDO	APROVÓ: M.SALCEDO_E.VARGAS	FECHA: JUNO-2019	ESCALA: SIN	ACOT: PLG.
ESIME		 			<b>SUJETADOR</b>	
EXTRACTOR_SUJETADOR					NO. DE PARTE FIE-12	



MATERIAL:  
 SOLERA ACERO AISI 4140 1 7/8"x3/4"x3/4"  
 TOLERANCIAS:  
 FRACCIONALES:  $\pm 1/32$   
 RUGOSIDADES NO ESPECIFICADAS: Ra 3.2

POS_3	CANT_1	DESCRIPCIÓN:	OBSERVACIONES:	
DISEÑO: N.BAEZ, F.GARCIA	REVISO: N.SALCEDO	APROVÓ: M.SALCEDO, E.VARGAS	FECHA: JUNIO-2019	ESCALA: 5:1
				<p style="text-align: center;"><b>TORNILLO1</b></p>
<p style="text-align: center;">EXTRACTOR_TORNILLO1</p>			<p style="text-align: center;">NO. DE PARTE FHE-14</p>	





**MATERIAL:**

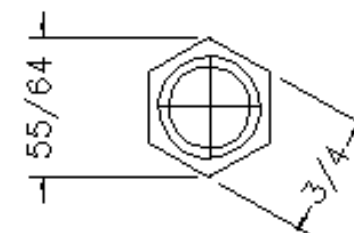
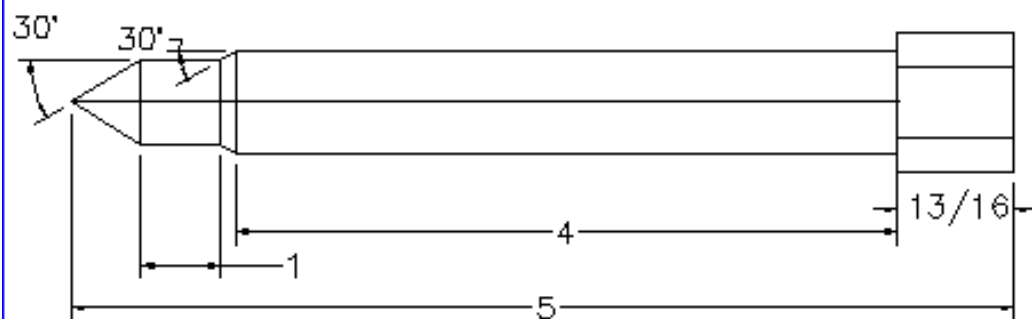
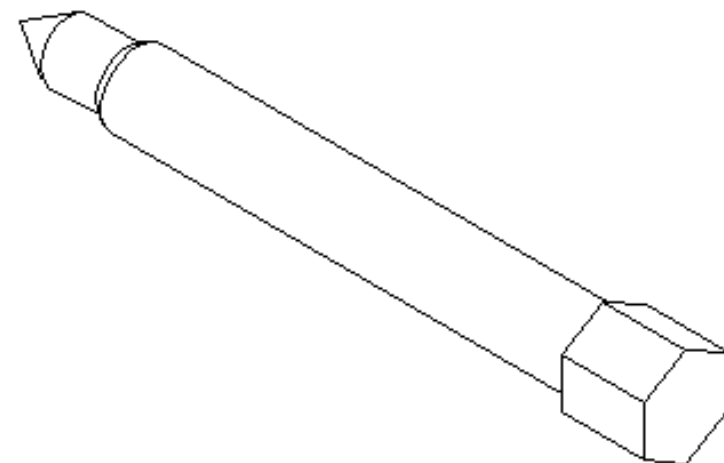
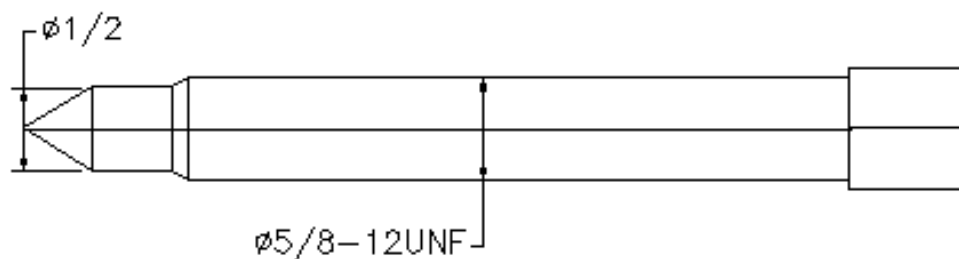
SOLERA ACERO AISI 4140 1 7/8"x3/4"x3/4"

TOLERANCIAS:

FRACCIONALES:  $\pm 1/32$

RUGOSIDADES NO ESPECIFICADAS:  $R_a 3.2$

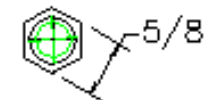
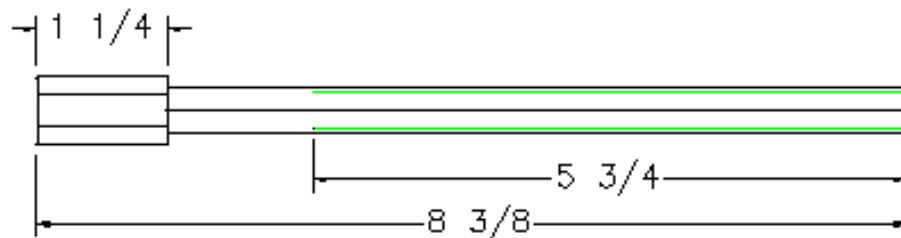
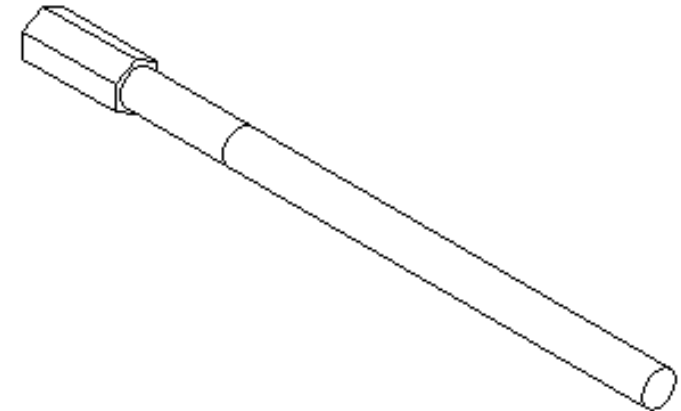
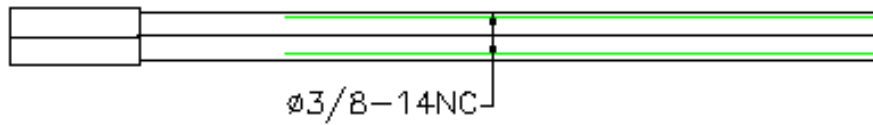
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN:	OBSERVACIONES:		
DISEÑO: H.BAEZ_F.GARCIA	REVISÓ H.SALCEDO	APROVÓ: H.SALCEDO_E.VARGAS	FECHA: JUNIO-2019	ESCALA: SIN	ACOT: PLG.
					<b>TORNILLO2</b>
EXTRACTOR_TORNILLO1				NO. DE PARTE FHE-15	



MATERIAL:  
 BLOQUE ACERO AISI 4140  $\phi 1" \times 6"$   
 TOLERANCIAS:  
 FRACCIONALES:  $\pm 1/32$   
 RUGOSIDADES NO ESPECIFICADAS: Ra 3.2

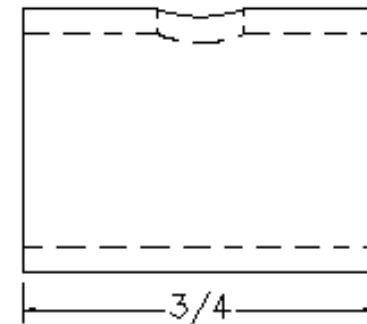
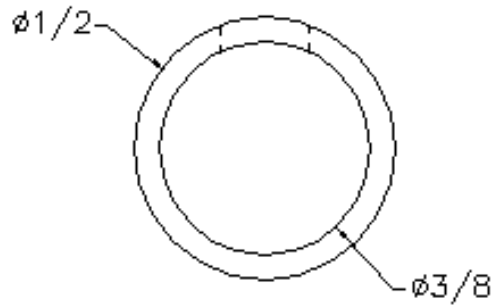
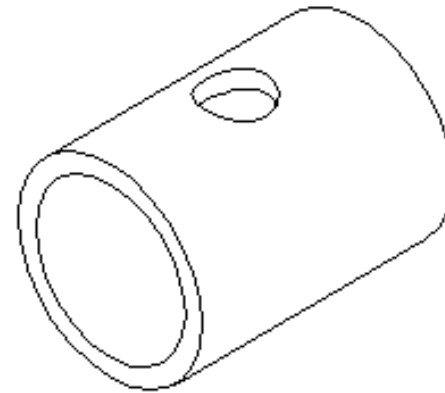
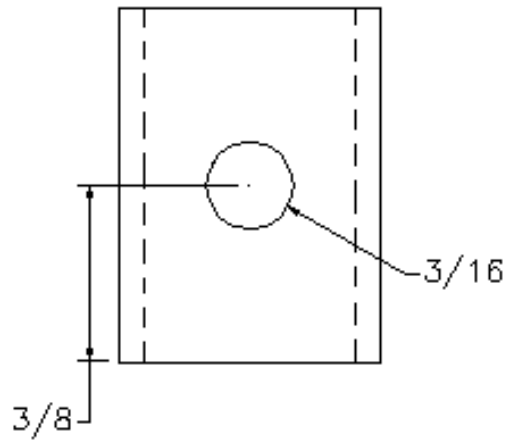
POS. 5	CANT. 1	DESCRIPCIÓN:			OBSERVACIONES:	
DISÑO M.SALCEDO	REVISÓ H.SALCEDO	APROVÓ H.SALCEDO_E Y ARGAS	FECHA: JUNIO-2019	ESCALA: 5N	ACOT: PLG.	
	ESIME			<b>TORNILLO_EXTRACTOR</b>		
				EXTRACTOR_TORNILLO2		NO. DE PARTE FHE-16







MATERIAL:  
 BLOQUE ACERO AISI 4140 CUADRADO  $1 \frac{1}{4}$ " x  $5 \frac{1}{2}$ "  
 TOLERANCIAS:  
 FRACCIONALES:  $\pm 1/32$   
 RUGOSIDADES NO ESPECIFICADAS: Ra 3.2

POS. 6	CANT. 1	DESCRIPCIÓN			OBSERVACIONES	
DESEN. M.BAEZ_F.GARCIA	REVISOR H.SALCEDO	APROB. H.SALCEDO_E.VARGAS	FECHA JUNIO-2019	ESCALA SIN	ACOT. PULG.	
	ESIME			TORNILLO_AJUSTADOR		
EXTRACTOR_T.AJUSTADOR					NO. DE PARTE LAE-47	



MATERIAL:  
 BLOQUE ACERO AISI 4140  $\phi 1/2$ "x1"  
 TOLERANCIAS:  
 FRACCIONALES:  $\pm 1/32$   
 RUGOSIDADES NO ESPECIFICADAS: Ra 3.2

POS?	CANT.1	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES		
DISENÓ: N.BAEZ,FGARCÍA	REVISÓ: N.SALCEDO	APROVÓ: N.SALCEDO,_EVARGAS	FECHA: JUNIO-2019	ESCALA: 5/8	ACOT: PULG.
	ESIME		<b>PRISIONERO</b>		
EXTRACTOR_PRISIONERO				NÚM. DE PARTE RHE-13	

## 4-5 | Hoja de proceso

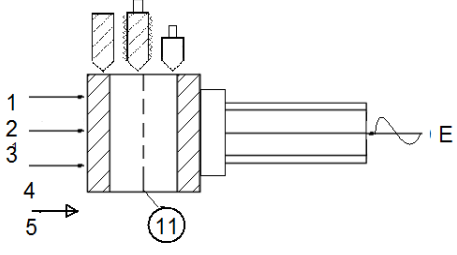
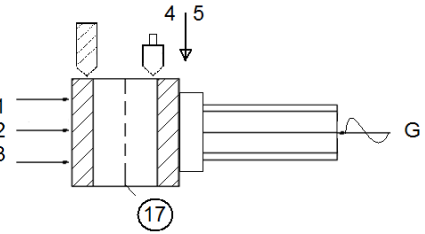
A continuación se muestra la hoja de proceso la cual nos dará una idea para la elaboración de la herramienta, utilizando la simbología del (ANEXO D)

<b>SOPORTE</b>			
Fase	Esquema explicativo	Maquina, herramienta de corte, elemento de sujeción y control.	Observaciones
10		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Taladro radial</li> <li>○ Broca 3/8</li> <li>○ Dispositivo de sujeción prensa</li> <li>○ Pie de Rey</li> <li>○ Avellanador</li> <li>○ Broca de centros</li> </ul>	<p>Apoyo plano 1,2 y3 Orientación 4 y5 Apriete A</p> <p>a.- barrenar 3/8 en 1 b.- barrenar 3/8 en 2 c.- avellanar en 1 d.- avellanar en 2</p>
20		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Taladro radial</li> <li>○ Broca 37/64</li> <li>○ Dispositivo de sujeción prensa</li> <li>○ Machuelo 5/8</li> <li>○ Dispositivo de sujeción prensa</li> <li>○ Pie de Rey</li> <li>○ Avellanador</li> <li>○ Broca de centros</li> </ul>	<p>Apoyo plano 1,2 y3 Orientación 4 y5 Apriete B</p> <p>a.- barrenar a 37/64 en 3 b.- machuelear a 5/8 en 3 c.- avellanar en 3</p>
30		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fresa universal</li> <li>○ Dispositivo de sujeción prensa</li> <li>○ Cortador de 1/2</li> <li>○ Pie de Rey</li> </ul>	<p>Apoyo plano 1,2 y3 Orientación 4 y5 Apriete C</p> <p>a.- fresado en 4 b.- fresado en 5</p>

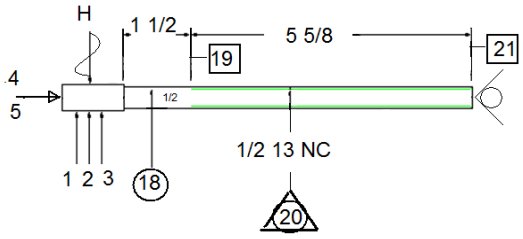
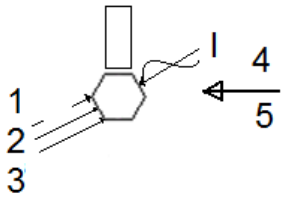
# TORNILLO 1

Fase	Esquema explicativo	Maquina, herramienta de corte, elemento de sujeción y control.	Observaciones
10		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Torno</li> <li>○ Buril para refrentar</li> <li>○ Buril para cilindrado</li> <li>○ Buril para roscarlo</li> <li>○ Dispositivo de Sujeción (chuck de mordazas independientes)</li> <li>○ Pie de Rey</li> <li>○ Patrón de roscas</li> </ul>	<p>Apoyo plano 1,2 y3 Orientación 4 y5 Apriete D</p> <p>a.- cilindrado a 1/2 en 6 b.- refrentar a 1/4 en 7 c.- cilindrado a 3/8 en 8 d.- refrentar a 7/8 en 9 e.- hacer rosca de 3/8 16 NC en 10</p>
20		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Taladro radial</li> <li>○ Broca 29/64</li> <li>○ Machuelo de 1/2 13 NC</li> <li>○ Dispositivo de sujeción prensa</li> <li>○ Broca</li> <li>○ Avellanador</li> </ul>	<p>Apoyo plano 1,2 y3 Orientación 4 y5 Apriete E</p> <p>a.- barrenar a 29/64 en 11 b.- machuelear a 1/2 13 NC en 11 c.- avellanar en 11</p>

# TORNILLO 2

Fase	Esquema explicativo	Maquina, herramienta de corte, elemento de sujeción y control.	Observaciones
10		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Torno</li> <li>○ Buril para refrentar</li> <li>○ Buril para cilindrado</li> <li>○ Buril para roscarlo</li> <li>○ Dispositivo de sujeción (chuck de mordazas independientes)</li> <li>○ Pie de Rey</li> <li>○ Patrón de roscas</li> </ul>	<p>Apoyo plano 1,2 y3 Orientación 4 y5 Apriete F</p> <p>a.- cilindrar a 1/2 en 12 b.- refrentar a 1/4 en 13 c.- cilindrar a 3/8 en 14 d.- refrentar a 7/8 en 15 e.- hacer rosca de 3/8 16 NC en 16</p>
20		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Taladro radial</li> <li>○ Broca 17/32</li> <li>○ Dispositivo de sujeción prensa</li> <li>○ Avellanador</li> </ul>	<p>Apoyo plano 1,2 y3 Orientación 4 y5 Apriete G</p> <p>a.- barrenar a 17/32 b.- avellanar</p>

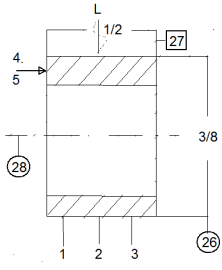
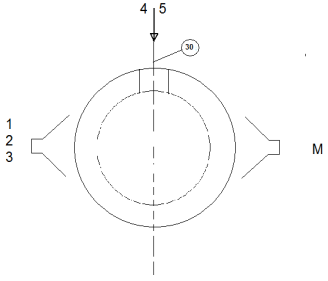
# TORNILLO AJUSTADOR

Fase	Esquema explicativo	Maquina, herramienta de corte, elemento de sujeción y control.	Observaciones
10		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Torno</li> <li>○ Buril de refrentado</li> <li>○ Buril de cilindrado</li> <li>○ Buril de roscado</li> <li>○ Dispositivo de sujeción (chuck universal)</li> <li>○ Pie de rey</li> <li>○ Patrón de roscas</li> <li>○ Punto giratorio</li> <li>○ Contra punto</li> <li>○ Broca de centros</li> <li>○ Broquero</li> </ul>	<p>Apoyo plano 1, 2 y3 Orientación 4 y 5 Apriete H a.- cilindrarse a 1/2 en 18 b.- refrentar en 21 c.- roscar en 20 de 19 a 21</p>
20		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fresa universal</li> <li>○ Cortador recto de 1/2</li> <li>○ Pie de Rey</li> <li>○ Dispositivo de sujeción (cabezal divisor)</li> </ul>	<p>Apoyo plano 1,2 y3 Orientación 4 y5 Apriete I a.- fresar cabeza hexagonal</p>

# TORNILLO EXTRACTOR

Fase	Esquema explicativo	Maquina, herramienta de corte, elemento de sujeción y control.	Observaciones
10		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Torno</li> <li>○ Buril de refrentado</li> <li>○ Buril de cilindrado</li> <li>○ Buril de roscado</li> <li>○ Dispositivo de sujeción (chuck universal)</li> <li>○ Pie de rey</li> <li>○ Patrón de roscas</li> <li>○ Punto giratorio</li> <li>○ Contra punto</li> <li>○ Broca de centros</li> <li>○ Broquero</li> </ul>	<p>Apoyo plano 1,2 y3 Orientación 4 y5 Apriete J a.- cilindrada a 5/8 en 22 b.- hacer conicidad de 45° en 23 c.- cilindrada a 1/2 en 24 d.- hacer cuerda en 26 e.- hacer conicidad de 45° en 25</p>
20		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fresa universal</li> <li>○ Cortador recto de 1/2</li> <li>○ Pie de Rey</li> <li>○ Dispositivo de sujeción (cabezal divisor)</li> </ul>	<p>Apoyo plano 1,2 y3 Orientación 4 y5 Apriete K a.- fresar cabeza hexagonal a 7/8</p>

# PRISIONERO

Fase	Esquema explicativo	Maquina, herramienta de corte, elemento de sujeción y control.	Observaciones
10		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Torno</li> <li>○ Buril para refrentar</li> <li>○ Buril para cilindrado</li> <li>○ Dispositivo de sujeción (chuck universal)</li> <li>○ Pie de Rey</li> <li>○ Broca de centros</li> <li>○ Contrapunto</li> <li>○ Broca 17/32</li> </ul>	<p>Apoyo plano 1,2 y3 Orientación 4 y5 Apriete L</p> <p>a.- cilindrado a 3/8 en 26 b.- refrentar a 1/2 en 27 c.- barrenar a 17/32 en 28</p>
20		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Taladro radial</li> <li>○ Broca (broca para cuerda de 3/16)</li> <li>○ Machuelo de 3/16</li> <li>○ Dispositivo de sujeción prensa</li> <li>○ Broca de centros</li> <li>○ Broca de 11/64</li> </ul>	<p>Apoyo plano 1,2 y3 Orientación 4 y5 Apriete M</p> <p>a.- barrenar a 11/64 en 30 b.- machuelear a 3/16 en 30 c.- avellanar en 30</p>



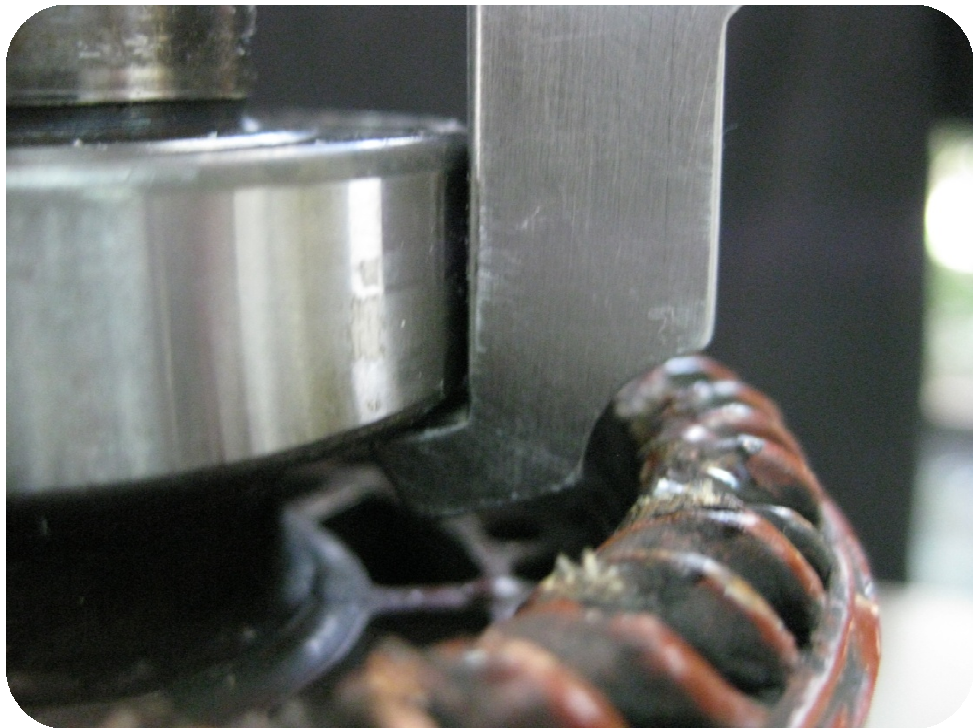
# SUJETADOR

Fase	Esquema explicativo	Maquina, herramienta de corte, elemento de sujeción y control.	Observaciones
10		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fresa universal</li> <li>○ Dispositivo de sujeción tipo prensa</li> <li>○ Cortador de ½</li> <li>○ Pie de Rey</li> </ul>	<p>Apoyo plano 1,2 y3 Orientación 4 y5 Apriete N a.- fresado según la geometría en 31</p>
20		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Electroerosión</li> <li>○ Dispositivo de sujeción tipo prensa</li> <li>○ Hilo de corte</li> </ul>	<p>Apoyo plano 1,2 y3 Orientación 4 y5 Apriete O a.- corte según geometría en 31</p>

# CAPÍTULO 5

## Pruebas y Resultados

---



## 5 | Pruebas

En este capítulo se analizarán las pruebas correspondientes a lo visto anteriormente.

Para el desarme de la marcha generadora checar el manual de mantenimiento de componentes eléctricos del motor Arriel 1-B.

Una vez desarmada la marcha generadora se procederá a lo siguiente:

Herramientas empleadas:

- Soporte de la flecha.
- Dispositivo de extracción.
- Llave 7/8”.

Procedimiento:

- 1.- Colocar el soporte de la flecha sobre la flecha
- 2.- Colocar el dispositivo de extracción sobre el rodamiento y el soporte de la flecha
- 3.- Aplicar la fuerza de extracción con la llave de 7/8”

Para una explicación grafica del proceso de extracción, ver video (incluido en el CD)

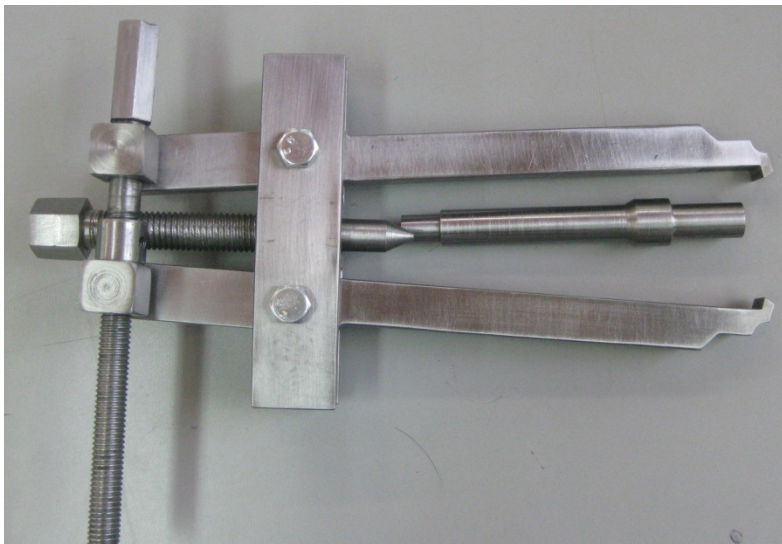
## 5-2 || Resultados

Se obtuvo una herramienta con las propiedades mecánicas necesarias para extraer el rodamiento de la marcha generadora sin sufrir ningún daño y a su vez el rodamiento no se dañó.

Esto corrobora los cálculos obtenidos teóricamente en el diseño de detalle, se calcularon las fuerzas de interferencia entre el rodamiento y la flecha de la marcha generadora y posteriormente se diseñó en Mechanical desktop para después realizar el análisis de elemento finito en Solid Works y simular las cargas en la herramienta obteniendo así los esfuerzos máximos en las diferentes zonas del material utilizado (acero AISI 9840).

Con el esfuerzo de Cedencia del material, también conocido como límite elástico, se comparó con el esfuerzo máximo obtenido en la simulación con ayuda del software para determinar si la herramienta soportaba las cargas antes calculadas por la interferencia en el rodamiento.

Una vez determinadas las cargas y con los planos del diseño de la herramienta extractora se procedió a realizar la hoja de proceso para realizar su fabricación.



## Conclusiones y recomendaciones

Recuerde que la función primaria del dispositivo de extracción fue tomada de una herramienta ya existente utilizada en el medio aeronáutico de la cual se desconoce su fabricante.

Utilizando la metodología QFD, diseño conceptual y diseño de detalle como metodología de diseño se puede observar que se pueden obtener resultados satisfactorios como los obtenidos en el presente trabajo la fabricación de la herramienta y una prueba exitosa obteniendo un rodamiento libre listo para ser reemplazado. El lector deberá saber de antemano que QFD no es la única metodología de diseño.

Aunque esta estrategia de diseño es buena existen otras metodologías para obtener resultados de forma más sencilla, por mencionar algunas: diseño de reingeniería y extracción de tecnología.

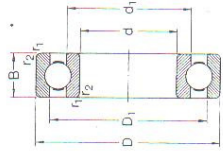
Para posibles necesidades se dejó un espacio suficiente en el soporte del dispositivo de extracción para trabajos futuros si es necesario se pueden fabricar otros barrenos para disponer de otras posiciones, para diferentes marchas y/o rodamientos.

## Referencias

- [1] [www.eurocopter.com.mx](http://www.eurocopter.com.mx)
- [2] [www.turbomeca.com](http://www.turbomeca.com)
- [3] manual de mantenimiento de componentes eléctricos (Eurocopter).
- [4] Córdones: Nombre de la empresa que cuenta con helicópteros para el servicio de la policía del Distrito Federal.
- [5] Villanueva Pruneda, Sergio Ramos.
- [6]AKAO Yoji. Despliegue de funciones de calidad. Integraciones de las necesidades del cliente en el producto. Productivity press. 1993.
- [7] JURAN J. M. Juran on quality by Design. The Free Press. USA. 1992.
- [8] ULLMAN David. The mechanical design process. McGraw-Hill Co. Singapur.19992.
- [9] Villanueva Pruneda, Sergio Ramos.
- [10] F. Javier Martin-Pliego López. Fundamentos De Probabilidad. Paraninfo.
- [11] Diseño de Elementos de Maquinas. Robert L. Mott

# ANEXO A

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

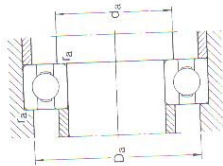


Sin ranuras en el aro exterior.



Con ranuras en el aro exterior.

Dimensiones principales		Capacidad de carga estal.		Carga límite en ranura	Velocidad nominal	Masa	Designación
d	D	C	C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	Lubricación con grasa	kg	
15	24	1 560	800	34	28 000	0,074	61802
	30	2 640	1 400	50	24 000	0,116	61902
	32	5 590	3 000	120	22 000	0,285	16002
	35	7 800	3 750	160	20 000	0,405	62002
	42	11 400	5 400	228	17 000	0,682	63002
17	26	1 860	930	39	24 000	0,082	61803
	30	4 360	2 320	88	22 000	0,118	61903
	35	6 050	3 250	137	19 000	0,163	16003
	40	8 050	4 500	190	17 000	0,230	62003
	47	13 500	6 550	275	15 000	0,365	63003
	62	22 900	10 800	455	12 000	0,627	64003
20	32	2 700	1 350	63	19 000	0,118	61804
	37	6 370	3 550	156	17 000	0,216	61904
	42	8 890	4 550	173	16 000	0,258	16004
	47	12 200	6 500	212	15 000	0,360	62004
	52	17 000	9 550	280	14 000	0,511	63004
	62	28 500	15 000	455	12 000	0,814	64004
	72	30 700	15 000	640	10 800	1,040	64004
25	37	4 360	2 600	125	17 000	0,222	61805
	42	9 050	4 700	276	16 000	0,445	61905
	47	12 400	6 500	312	15 000	0,580	16005
	52	17 000	9 550	385	14 000	0,813	62005
	62	22 500	11 600	490	11 000	1,123	63005
	80	35 800	19 300	815	9 000	1,853	64005
30	42	4 490	2 900	146	15 000	0,227	61806
	47	7 280	4 550	212	14 000	0,311	61906
	52	11 000	6 500	310	12 000	0,465	16006
	55	13 300	8 300	345	11 000	0,585	16006
	62	19 500	11 200	475	10 000	0,812	62006
	72	28 100	16 000	670	9 000	1,130	63006
	90	43 600	23 600	1 000	8 500	1,674	64006



Otras dimensiones

Dimensiones de resaltes

d	d <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	r <sub>1,2</sub> min	d <sub>a</sub> min	d <sub>a</sub> max	r <sub>s</sub> max
15	17,9	21,1	-	0,3	17	22	0,3
	18,4	24,7	-	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
	21,5	29,2	33,9	1	20	37	1
17	20,2	25,2	-	0,3	19	24	0,3
	20,2	25,7	-	0,3	19	28	0,3
	22,7	29,5	31,2	0,3	19	33	0,3
	24,2	32,9	35,6	0,6	19	36	0,6
	24,2	32,9	38,6	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
	27,2	35,1	37,2	0,6	22	40	0,3
	28,5	38,7	40,6	1	24	38	0,6
	30,3	42,1	44,8	1,1	26,5	45,5	1
	37,1	55,6	-	1,1	26,5	65,5	1
25	28,5	33,3	-	0,3	27	35	0,3
	30,2	36,9	-	0,3	27	45	0,3
	33,3	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	41,8	-	0,3	32	40	0,3
	35,2	47,3	-	0,3	32	45	0,3
	38	47,3	48	0,3	35	50	1
	38,2	47,1	54,1	1	35	57	1
	40,6	54,6	56,9	1,1	36,5	65,5	1
	50,3	70,7	-	1,5	38	82	1,5



# ANEXO B

### Ajustes de fuerza y por encogimiento (FN)

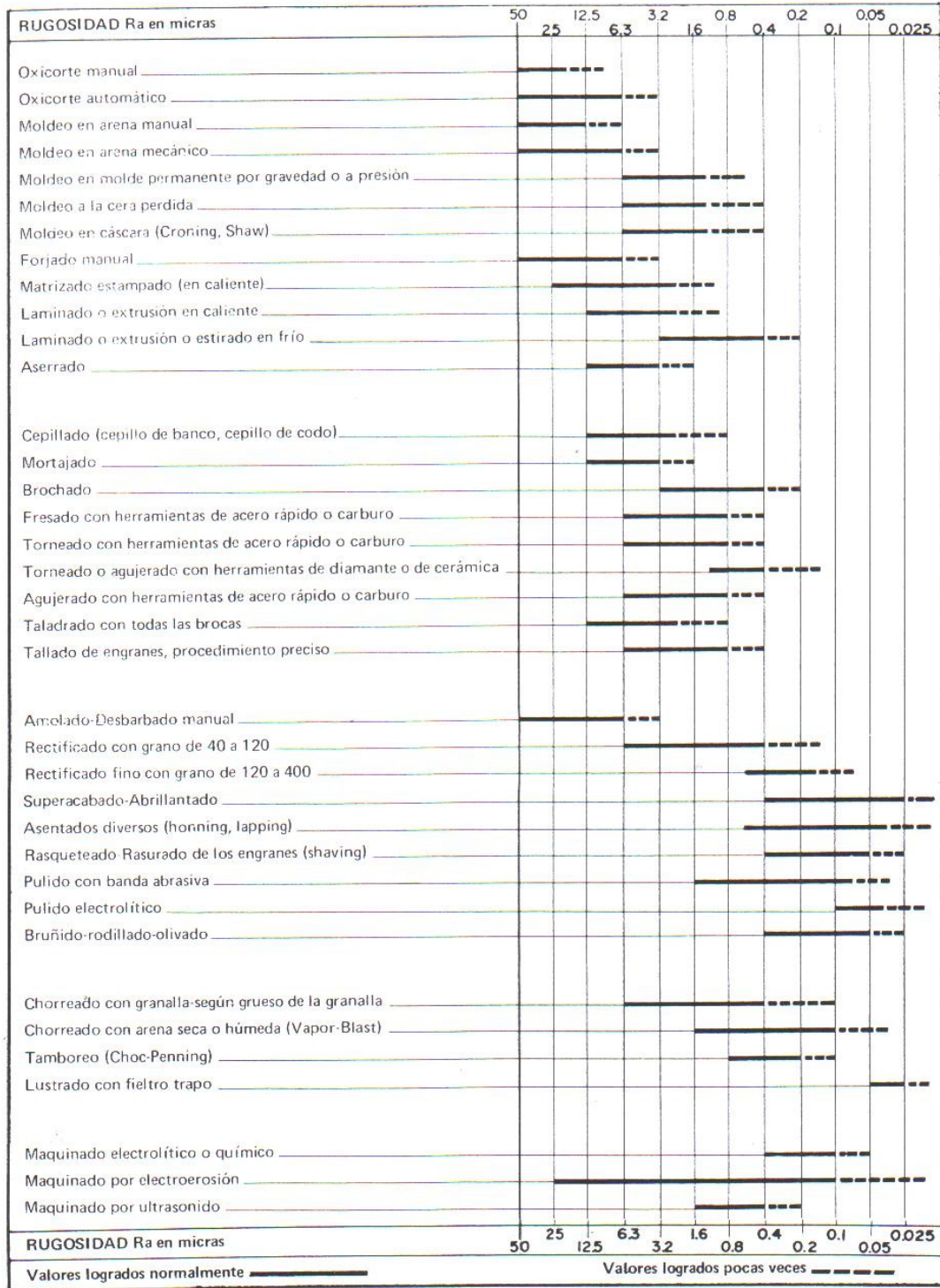
Rango de tamaño nominal (")	Clase FN1			Clase FN2			Clase FN3			Clase FN4			Clase FN5				
	Hasta	Límites de interferencia		Límites estándar		Límites de interferencia	Límites estándar		Límites de interferencia	Límites estándar		Límites de interferencia	Límites estándar		Límites de interferencia	Límites estándar	
		Orificio	Eje	Orificio	Eje		Orificio	Eje		Orificio	Eje		Orificio	Eje		Orificio	Eje
0-0.12	0.05	+0.25	+0.5	0.2	+0.4	+0.85				0.3	+0.4	+0.95	0.3	+0.6	+1.3		
	0.5	-0	+0.3	0.85	-0	+0.6				0.95	-0	+0.7	1.3	-0	+0.9		
0.12-0.24	0.1	+0.3	+0.6	0.2	+0.5	+1.0				0.4	+0.5	+1.2	0.5	+0.7	+1.7		
	0.6	-0	+0.4	1.0	-0	+0.7				1.2	-0	+0.9	1.7	-0	+1.2		
0.24-0.40	0.1	+0.4	+0.75	0.4	+0.6	+1.4				0.6	+0.6	+1.6	0.5	+0.9	+2.0		
	0.75	-0	+0.5	1.4	-0	+1.0				1.6	-0	+1.2	2.0	-0	+1.4		
0.40-0.56	0.1	+0.4	+0.8	0.5	+0.7	+1.6				0.7	+0.7	+1.8	0.6	+1.0	+2.3		
	0.8	-0	+0.5	1.6	-0	+1.2				1.8	-0	+1.4	2.3	-0	+1.6		
0.56-0.71	0.2	+0.4	+0.9	0.5	+0.7	+1.6				0.7	+0.7	+1.8	0.8	+1.0	+2.5		
	0.9	-0	+0.6	1.6	-0	+1.2				1.8	-0	+1.4	2.5	-0	+1.8		
0.71-0.95	0.2	+0.5	+1.1	0.6	+0.8	+1.9				0.8	+0.8	+2.1	1.0	+1.2	+3.0		
	1.1	-0	+0.7	1.9	-0	+1.4				2.1	-0	+1.6	3.0	-0	+2.2		
0.95-1.19	0.3	+0.5	+1.2	0.6	+0.8	+1.9	0.8	+0.8	+2.1	1.0	+0.8	+2.3	1.3	+1.2	+3.3		
	1.2	-0	+0.8	1.9	-0	+1.4	2.1	-0	+1.6	2.3	-0	+1.8	3.3	-0	+2.5		
1.19-1.58	0.3	+0.6	+1.3	0.8	+1.0	+2.4	1.0	+1.0	+2.6	1.5	+1.0	+3.1	1.4	+1.6	+4.0		
	1.3	-0	+0.9	2.4	-0	+1.8	2.6	-0	+2.0	3.1	-0	+2.5	4.0	-0	+3.0		
1.58-1.97	0.4	+0.6	+1.4	0.8	+1.0	+2.4	1.2	+1.0	+2.8	1.8	+1.0	+3.4	2.4	+1.6	+5.0		
	1.4	-0	+1.0	2.4	-0	+1.8	2.8	-0	+2.2	3.4	-0	+2.8	5.0	-0	+4.0		
1.97-2.56	0.6	+0.7	+1.8	0.8	+1.2	+2.7	1.3	+1.2	+3.2	2.3	+1.2	+4.2	3.2	+1.8	+6.2		
	1.8	-0	+1.3	2.7	-0	+2.0	3.2	-0	+2.5	4.2	-0	+3.5	6.2	-0	+5.0		
2.56-3.15	0.7	+0.7	+1.9	1.0	+1.2	+2.9	1.8	+1.2	+3.7	2.8	+1.2	+4.7	4.2	+1.8	+7.2		
	1.9	-0	+1.4	2.9	-0	+2.2	3.7	-0	+3.0	4.7	-0	+4.0	7.2	-0	+6.0		
3.15-3.94	0.9	+0.9	+2.4	1.4	+1.4	+3.7	2.1	+1.4	+4.4	3.6	+1.4	+5.9	4.8	+2.2	+8.4		
	2.4	-0	+1.8	3.7	-0	+2.8	4.4	-0	+3.5	5.9	-0	+5.0	8.4	-0	+7.0		
3.94-4.73	1.1	+0.9	+2.6	1.6	+1.4	+3.9	2.6	+1.4	+4.9	4.6	+1.4	+6.9	5.8	+2.2	+9.4		
	2.6	-0	+2.0	3.9	-0	+3.0	4.9	-0	+4.0	6.9	-0	+6.0	9.4	-0	+8.0		
4.73-5.52	1.2	+1.0	+2.9	1.9	+1.6	+4.5	3.4	+1.6	+6.0	5.4	+1.6	+8.0	7.5	+2.5	+11.6		
	2.9	-0	+2.2	4.5	-0	+3.5	6.0	-0	+5.0	8.0	-0	+7.0	11.6	-0	+10.0		
5.52-6.30	1.5	+1.0	+3.2	2.4	+1.6	+5.0	3.4	+1.6	+6.0	5.4	+1.6	+8.0	9.5	+2.5	+13.6		
	3.2	-0	+2.5	5.0	-0	+4.0	6.0	-0	+5.0	8.0	-0	+7.0	13.6	-0	+12.0		

Nota: los límites se dan en milésimas de pulgada.

Fuente: ANSI Standard B4.1—1967 (revisión 1979), *Preferred Limits and Fits for Cylindrical Parts* (American Society of Mechanical Engineers, Nueva York).

# ANEXO C

## PROMEDIO DE RUGOSIDAD OBTENIBLE POR DIFERENTES PROCESOS



# ANEXO D

*Símbolos que indican la naturaleza de la superficie de contacto de la pieza*

NATURALEZA DE LA SUPERFICIE	SIMBOLO	
Superficie maquinada		un solo trazo
Superficie en bruto		dos trazos

*Símbolos de los tipos de tecnología de los elementos*

TIPOS DE TECNOLOGIA	SIMBOLO	
Apoyo fijo		
Centrado fijo		
Sistema de apriete		
Sistema de apriete concéntrico		
Sistema de apoyo irreversible		
Sistema de apoyo reversible		

(1) El signo significa un preposicionamiento, el sistema de apriete concéntrico será flotante.

*Símbolos que indican la naturaleza del contacto con la superficie*

NATURALEZA DEL CONTACTO	SIMBOLO	NATURALEZA DEL CONTACTO	SIMBOLO	NATURALEZA DEL CONTACTO	SIMBOLO
Contacto plano		Punto fijo		Contacto múltiple	
Contacto estriado		Punto giratorio		Plato	
Contacto abombado		Basculante		Ve	



DISPOSITIVO Y FUNCION	SIMBOLO
Contacto plano fijo de partida de maquinado apoyado sobre superficie maquinada.	
Contacto plano orientable de partida de maquinado sobre superficie maquinada.	 orientable (2)
Mordazas estriadas de apriete concéntrico flotante, usadas como agarre sobre una superficie en bruto.	
Contacto abombado fijo de partida de maquinado sobre una superficie en bruto.	
Contacto múltiple fijo de partida de maquinado sobre una superficie en bruto.	
Plato axial (3) usado como punto de partida de maquinado sobre una superficie maquinada.	
Punto fijo axial usado como punto de partida de maquinado sobre una superficie maquinada.	
Punto giratorio axial regulable usado como punto de partida de maquinado sobre una superficie maquinada.	
Brida basculante con mordazas estriadas, sobre una superficie en bruto.	
Ve axial fija sirviendo como punto de partida de maquinado sobre una superficie maquinada.	

(2) Si es necesario, el símbolo compuesto puede completarse con una breve indicación escrita (Ver Figura IX.10b)

(3) Axial: Que forma un eje.