



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA**  
**APLICADA Y TECNOLOGÍA AVANZADA**  
**UNIDAD QUERÉTARO**

**PROGRAMA DE MAestrÍA EN TECNOLOGÍA AVANZADA**

**“PROCESO PARA LA MANUFACTURA Y VERIFICACIÓN  
GEOMÉTRICA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PARA  
MÁQUINAS–HERRAMIENTA DE APLICACIÓN ESPECÍFICA”**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA AVANZADA**

PRESENTA:

**ING. ALEJANDRO PRUDENCIO RAZO**

DIRECTOR DE TESIS:

**DR. REYDEZEL TORRES MARTÍNEZ**



**SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO, DICIEMBRE 2011**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

SIP-14

*ACTA DE REVISIÓN DE TESIS*

En la Ciudad de Querétaro, Qro siendo las 16:00 horas del día 23 del mes de Noviembre del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICATA Querétaro para examinar la tesis de titulada:

Proceso para la manufactura y verificación geométrica de elementos  
estructurales para máquinas-herramienta de aplicación específica

Presentada por el alumno:

Prudencio  
Apellido paterno

Razo  
Apellido materno

Alejandro  
Nombre(s)

Con registro: 

B	0	9	1	5	4	7
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

Maestría en Tecnología Avanzada

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

**LA COMISIÓN REVISORA**

Director de tesis

Dr. Reydezel Torres Martínez

Dr. Eduardo Morales Sánchez.

M.C. Maximiano F. Ruiz Torres.

Dr. José Dolores Oscar Barceinas Sánchez.

M.C. Gerardo Atanacio Jiménez.

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

Dr. Jorge A. Huerta Ruelas





# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Santiago de Querétaro, Qro., el día 22 del mes de Octubre del año 2011, el que suscribe Alejandro Prudencio Razo, alumno del Programa de Maestría en Tecnología avanzada con número de registro **B091547**, adscrito a CICATA Querétaro, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Reydezel Torres Martínez y cede los derechos del trabajo intitulado "PROCESO PARA LA MANUFACTURA Y VERIFICACIÓN GEOMÉTRICA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PARA MÁQUINAS-HERRAMIENTA DE APLICACIÓN ESPECÍFICA", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección [retorres@ipn.mx](mailto:retorres@ipn.mx). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Alejandro Prudencio Razo

Nombre y firma

Agradecimientos:

- A CONACYT por proveer de los medios para llevar a cabo mis estudios de posgrado, mediante la beca No. 333040.
- Al Instituto Politécnico Nacional, por brindarme la oportunidad de llevar a cabo un posgrado en tan prestigiosa institución, y por el otorgarme la beca institucional para terminación de tesis.
- A la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas del IPN por el apoyo brindado mediante la beca PIFI 2010056.

Para mis padres por su paciencia y apoyo.

## Resumen

El consumo de máquinas-herramienta en el país por la industria de la manufactura se encuentra en constante crecimiento, no obstante la industria de las máquinas-herramienta nacional no satisface la demanda, con lo anterior en mente actualmente se realizan trabajos dentro de diversas instituciones de investigación y educativas dentro del país para la optimización y mejora de las máquinas-herramienta tanto de diseño convencional como reconfigurables.

Las nuevas tendencias en los sistemas de manufactura apuntan a la implementación de sistemas flexibles capaces de adaptarse a las demandas del mercado de manera rápida y con costos reducidos, una opción es emplear máquinas de propósito general CNC, los cuales proveen de una gran flexibilidad pero no son necesariamente efectivas en términos de recuperación de la inversión en periodos de tiempo cortos. Es por ello que surge la implementación de sistemas de manufactura flexibles o reconfigurables en los cuales la inversión inicial es considerablemente menor.

Se propone el desarrollo de un proceso para la manufactura y verificación de elementos estructurales para máquinas-herramientas, tomando en cuenta los conceptos más importantes del diseño de máquinas reconfigurables y las normas bajo las cuales se rige su aceptación y mantenimiento.

## Abstract

The demand for machine tools in the country by the manufacture industry is at a continuous growth, nevertheless the national machine-tool industry is incapable of fulfill the demand of new machinery, with that in mind nowadays there are several works in progress at various research and education institutes nationwide for the optimization and improvement of conventional and reconfigurable machine-tools.

The new tendencies in manufacture systems lead towards the implementation of flexible systems capable of adapting to the demands of an ever changing market with cost effective solutions, an option is the use of general propose CNC machinery, which provide great flexibility but are not always return investment effective on short term. This originates the implementation of flexible or reconfigurable manufacturing systems were the initial investment is far smaller.

It is propose the development of a manufacture and verification process for structural elements for machine-tools, taking into consideration the most important concepts for reconfigurable machine tools design, as the standards employed to their acceptance and maintenance.

# Índice

<b>1 Antecedentes.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Motivación para esta tesis.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.1 El origen de las M-H de la industria metal-mecánica mexicana, su estado de obsolescencia y oportunidades. ....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.2 Algunos aspectos relevantes sobre el diseño y la fabricación de M-H en México. ....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Definición del problema.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Propuesta de solución. ....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Justificación.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Objetivos de la Tesis.....</b>	<b>5</b>
<b>1.5.1 Objetivo general.....</b>	<b>5</b>
<b>1.5.2 Objetivos específicos. ....</b>	<b>5</b>
<b>1.6 Hipótesis. ....</b>	<b>5</b>
<b>1.7 Estrategias. ....</b>	<b>6</b>
<b>2 Actualidad y tendencias en los procesos de manufactura metal-mecánicos .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Actualidad en los sistemas de manufactura. ....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.1 Sistemas flexibles de manufactura.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.2 Sistemas de manufactura reconfigurables. ....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.3 Máquinas-Herramienta Reconfigurables.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Tendencias en los sistemas de manufactura. ....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.1 Tendencias tecnológicas.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.2 Maquinas reconfigurables.....</b>	<b>10</b>
<b>3 Marco Teórico.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Estructura y Capacidad de Reconfiguración de un Sistema de Manufactura. ....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 Sobre los módulos mecánicos en una MHR.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3 Exactitud y repetitividad en una máquina-herramienta. .</b>	<b>17</b>
<b>3.3.1 Exactitud en las características dimensionales, geométricas, de forma, posición y de estado superficial a verificar en una MH..</b>	<b>17</b>

3.3.2	Elementos que afectan la repetitividad en una máquina herramienta.....	17
3.3.3	Evaluación de la exactitud y la repetitividad:.....	20
3.4	Incertidumbre en las mediciones: .....	21
3.4.1	Identificación de las fuentes de incertidumbre.....	21
3.5	Efecto de la exactitud de la maquinaria en las tolerancias dimensionales y geométricas de las partes.....	23
3.6	Diseño y Manufactura de Piezas Metal-mecánicas.....	23
3.6.1	Departamento de diseño o proyectos.....	24
3.6.2	Departamento de Métodos de Manufactura.....	28
3.6.3	Los procesos de manufactura y sus calidades obtenibles.....	33
3.7	Sobre los sistemas de sujeción.....	37
3.7.1	Reglas básicas para la localización.....	37
3.7.2	Posición de los localizadores.....	38
3.8	Sobre los sistemas de sujeción para fresado y cepillado.....	38
3.8.1	Fuerza de sujeción.....	38
3.8.2	Empuje de trabajo.....	38
3.8.3	Ajuste de corte.....	38
3.9	Sujeción a la mesa de trabajo.....	39
3.9.1	Sujeción rígida.....	40
3.9.2	Sistemas de sujeción para careado.....	40
3.9.3	Apoyos planos.....	41
3.9.4	Pre-posicionamiento.....	41
3.9.5	Embonamientos.....	41
3.10	Verificación dimensional y geométrica en las M-H.....	41
3.11	Tipos de Verificación.....	42
3.11.1	Verificaciones estáticas o geométricas: .....	42
3.11.2	Comprobación de la rectitud.....	43
3.11.3	Rectitud de una línea.....	43
3.12	Cartas de aceptación para máquinas herramienta.....	43
3.12.1	Secuencia de una prueba de aceptación: .....	44

3.12.2	Como llevar a cabo estas pruebas y como usar las herramientas e instrumentos requeridos para este examen: .....	44
3.13	Métodos de medición para tornos.....	45
3.14	Etapas previas a la verificación de una máquina herramienta:.....	45
3.15	Fuentes de error en mandriles rotatorios.....	48
3.16	Procedimiento de verificación para un torno.....	50
3.16.1	Relaciones de posición entre las superficies de las guías de deslizamiento:.....	51
3.16.2	Mediciones angulares.....	52
3.16.3	Mediciones en el contrapunto.....	53
4	Materiales y Métodos .....	57
4.1	Materiales y equipo para la manufactura y la verificación de los carros de un torno-fresador. ....	57
4.1.1	Esquema general de los carros. ....	57
4.1.2	Materiales. ....	58
4.1.3	Maquinaria y Equipo de fabricación. ....	58
4.1.4	Instrumentos para la verificación de los carros del torno-fresador.....	59
4.2	Métodos.....	62
4.2.1	Diseño de los carros.....	62
4.2.2	Diseño del proceso de manufactura.....	64
4.2.3	Fabricación unitaria.....	69
4.2.4	Verificación de los elementos componentes de una MH. ....	70
4.2.5	Cartas de tolerancias para la verificación del torno.....	76
5	Resultados. ....	81
5.1	Diseño del carro principal.....	81
5.1.1	Cálculo de esfuerzos y deformaciones. ....	81
5.1.2	Dibujos de diseño. ....	83
5.2	Análisis de fabricación.....	87
5.3	Fabricación del prototipo.....	93
5.4	Verificaciones dimensionales y geométricas del prototipo	94

5.4.1	Rectitud de la bancada.....	94
5.4.2	Planitud de las guías de la bancada.....	96
5.4.3	Paralelismo de los planos que forman la cola de milano en el carro principal.....	98
5.4.4	Paralelismo entre las guías rectas y la cola de milano.....	100
5.4.5	Verificación del paralelismo en los planos inclinados de la cola de milano empleando 2 pernos de verificación y vernier.	104
5.4.6	Verificación del paralelismo en los planos inclinados de la cola de milano empleando 2 pernos de verificación y vernier.	106
5.4.7	Desviación del chuck con respecto a los carros .....	110
6	Análisis y discusión de resultados. ....	111
6.1	Diseño.....	111
6.2	Manufactura.....	112
6.3	Verificación.....	112
7	Conclusiones y Recomendaciones. ....	114
7.1	Conclusiones.....	114
7.1.1	Diseño. ....	114
7.1.2	Manufactura. ....	114
7.1.3	Verificación. ....	115
7.2	Recomendaciones .....	115
7.2.1	Diseño. ....	115
7.2.2	Manufactura. ....	115
7.2.3	Verificación .....	116
8	Bibliografía .....	117
9	Anexo A. ....	125

# Glosario

M_H.....	Máquina- Herramienta
MHR.....	Máquina Herramienta Reconfigurable
CNC.....	Computer Numerical Control
NC.....	Numeric Control
SFM.....	Sistema Flexible de Manufactura
SRM.....	Sistema Reconfigurable de Manufactura
ISO.....	International Standard Organization
JIS.....	Japanese Industrial Standard
DIN.....	Deutsches Institut für Normung
$MF_i$ .....	$i$ neava característica de mecanizado
$U_{m=1}^M f_{im}^{MF}(GF_i)$ ...	Unión de los conjuntos de atributos de la información geométrica.
$U_{n=1}^N f_{in}^{MF}(VF_i)$ .....	Unión de los conjuntos de atributos de la información de volumen
$U_{0=1}^0 f_{il}^{MF}(SF_i^T)$ .....	Unión de los conjuntos de atributos de la información de la parte superior de la superficie
$U_{p=1}^P f_{il}^{MF}(SF_i^B)$ ....	Unión de los conjuntos de atributos de la información de la base de la superficie
$U_{n=1}^Q f_{io}^{MF}(CI_i)$ .....	Unión de los conjuntos de atributos de la información de la producción general
$P_i(x)$ .....	Prioridad de la entrada de información de diseño $i$
$W_{imax}$ .....	máximo de la ponderación de la información de entrada $i$
$W_{imin}$ .....	el mínimo valor de la ponderación de la información de entrada $i$
$W_i(x)$ .....	la ponderación dada al elemento $i$
$m_i$ .....	número de elementos de entrada
$C_i(y)$ .....	el grado de conectividad

## Índice de Figuras.

Figura 1.1	Ensamble de bancada, cabezal y estructura para torno-fresador realizado en el IPN (9).	4
Figura 2.1.	Evolución de la manufactura en términos de la complejidad de producción y el tiempo para salir al mercado en la industria automotriz.	9
Figura 3.1.	Comparación entre diferentes tipos de sistemas de manufactura metal-mecánica.	12
Figura 3.2.	Desarrollo de un sistema de manufactura reconfigurable.	13
Figura 3.3	Proceso de diseño de una maquina reconfigurable (40).	14
Figura 3.4.	Fuentes más comunes de error que afectan la repetitividad geométrica en el maquinado	19
Figura 3.5:	Curva de distribución normal	20
Figura 3.6.	Dos formas diferentes de graficar la dispersión de los errores de medición en 5 puntos	21
Figura 3.7	Proceso de satisfacción de una necesidad de productos metal-mecánicos.	24
Figura 3.8	Secuencia de actividades en diseño de productos metal-mecánicos.	25
Figura 3.9	Dibujo de conjunto de una biela y leva circular.	26
Figura 3.10.	Dibujo de detalle de biela (1.2) y leva circular (1.1).	27
Figura 3.11.	Esquema general de tolerancias	34
Figura 3.12.	Ángulo en la rasqueta plana (73).	36
Figura 3.13.	Formas de las rasquetas (73).	36
Figura 3.14:	Consideraciones para sistema de sujeción fresado	39
Figura 3.15:	Sistema de fijación a la mesa de coordenadas	39
Figura 3.16:	Sistema de sujeción para el careado de superficies	40
Figura 3.17:	Puntos de apoyo para formar un plano de montaje	41
Figura 3.18:	Comprobación de la rectitud de una línea por nivelación.	43
Figura 3.19:	El nivel ocupa sucesivamente las posiciones longitudinales a, b, c y d, Puede usarse para esta verificación un travesaño con apoyos isostáticos o el carro mismo (referencia)	47
Figura 3.20.	Desplazamiento verdadero de los husillos	48
Figura 3.21.	Fuentes de error en mandriles rotatorios	48
Figura 3.22:	Prueba para el desplazamiento verdadero	49
Figura 3.23:	Mandril de prueba hueco con vástago cónico.	49
Figura 3.24:	Puente para nivel.	50
Figura 3.25:	Tolerancias unilaterales en mediciones de nivel	50
Figura 3.26:	Verificación de la inclinación de dos superficies por medio de calibres normales	52
Figura 3.27:	Verificación del Contrapunto	53
Figura 3.28:	a) Verificación para aprobar las guías. b) Husillo de trabajo (plano a eje)	54
Figura 3.29:	Husillo Principal	55
Figura 3.30:	Careado	56
Figura 4.1.	Dibujo de conjunto del torno-fresador (solo se muestran la bancada y los carros)	57
Figura 4.2.	Bloques para la construcción de los elementos estructurales.	58
Figura 4.3	McLane X6325	58
Figura 4.5	Nivel maestro de precisión marca Starrett modelo 199Z.	59
Figura 4.6	Bloques Ultra precisos en V con clamps.	59
Figura 4.4.	Torno McLane.	59
Figura 4.7.	Indicador de pestaña	60
Figura 4.8	Indicador de caratula	60
Figura 4.9	Calibrador electrónico de alturas con doble poste.	60
Figura 4.10.	Mármol de taller planitud $4\mu$ de 400 x 250 x 80 (mm).	61
Figura 4.11:	Mandril de verificación poner foto mandril empleado	61
Figura 4.12	reglas paralelas y cilindros rectificados.	61

Figura 4.13 Microscopio con graduación, lámpara y base magnética. ....	61
Figura 4.14: Componentes de la fuerza de corte .....	63
Figura 4.15. Proceso de maquinado del carro principal. ....	69
Figura 4.16 Sistema de sujeción diseñado para facilitar la fabricación del carro principal. ....	70
Figura 4.17. Medición de rectitud en la superficie de las colas de milano. ....	71
Figura 4.18. Medición de planicidad.....	71
Figura 4.19. Medición de cilindridad.....	72
Figura 4.20. Rectitud en un cilindro.....	72
Figura 4.21. Verificación de Paralelismo.....	73
Figura 4.22. Verificación de perpendicularidad. ....	73
Figura 4.23. Verificación de paralelismo entre las guías y el husillo principal. ....	74
Figura 4.24. Paralelismo entre el husillo del contrapunto y las guías de la bancada .....	74
Figura 4.25. Desviación del husillo principal con respecto alas guías.....	75
Figura 5.1. Modelo mostrando fuerzas de carga y restricciones. ....	82
Figura 5.2. Desplazamientos en X el carro principal .....	83
Figura 5.3 Desplazamientos en Y el carro principal .....	83
Figura 5.4 Dibujo de subconjunto de los carros del Torno-fresador.....	84
Figura 5.5 Dibujo de ensamble del carro principal con el husillo del carro transversal .....	85
Figura 5.6 Dibujos de despiece del carro principal .....	86
Figura 5.7 Montaje del Carro principal.    Figura 5.8 Maquinado de las guías en el carro principal. ....	93
Figura 5.9 Torno Armado. ....	93
Figura 5.10. Medición de la rectitud por medio de dos reglas paralelas y el nivel de precisión .....	94
Figura 5.11 Representación grafica de la rectitud de la guía izquierda. ....	95
Figura 5.12. Representación grafica de la rectitud de la guía derecha de la bancada. ....	95
Figura 5.13. Verificación de paralelismo.....	96
Figura 5.14. Arreglo para la medición de planitud en las guías de la bancada. ....	97
Figura 5.15. Planitud en la guía derecha .....	97
Figura 5.16. Planitud en la guía izquierda.....	98
Figura 5.17: Arreglo p ara la verificación de paralelismo entre planos que forman la cola de milano.....	98
Figura 5.18. Medición del paralelismo entre la superficie de soporte de las guías planas y la guía de cola de milano. ....	100
Figura 5.19. Medición del paralelismo entre la superficie de soporte de las guías planas y la guía de cola de milano. ....	100
Figura 5.20. Medición del paralelismo entre la superficie de soporte de las guías planas y la guía de cola de milano tomando como referencia la base plana de la cola de milano. ....	103
Figura 5.21. Medición entre puntos con pernos de medición. ....	104
Figura 5.22. Medición entre puntos con pernos de medición. ....	106
Figura 5.23: Arreglo para la verificación de cilindridad .....	107
Figura 5.24: Vista frontal del arreglo que se empleo para realizar las mediciones de cilindridad.....	107
Figura 5.25: Vista lateral del arreglo .....	107
Figura 5.26: Esquema de las posibles deformaciones en cilindridad. ....	107
Figura 5.27Verificación del plato.....	109
Figura 5.28verificacion de la desviación del chuck .....	110

# 1 Antecedentes.

## 1.1 Motivación para esta tesis.

1.1.1 El origen de las M-H de la industria metal-mecánica mexicana, su estado de obsolescencia y oportunidades.

Actualmente en México muchas de las MH de la planta productiva instalada son obsoletas: “En países como Estados Unidos de América, aproximadamente cada diez años se renueva la tecnología de las empresas; ocurre que muchas compañías mexicanas compran esa tecnología usada, pero en algunos casos ni siquiera hacen eso y siguen trabajando con M-H de la década de los cuarenta” (Equipo Editorial de Metalmecánica Internacional, 2009).

Aunado a la falta de adquisición de tecnología se encuentra la falta de generación de la misma: “La producción de M-H mexicanas es prácticamente inexistente. Las exportaciones solo corresponden al 1.8 % de las importaciones, pero dichas exportaciones se deben principalmente a cambios y reparaciones de maquinaria de empresas estadounidenses asentadas a ambos lados de la frontera”(Foro de Inversiones y Cooperación Empresarial Hispano-Mexicano , 2002), aunque también es una realidad que algunas empresas mexicanas construyen, integran o reacondicionan MH de aplicación universal y específica para consumo interno (ADIWEB COMAIMEX, 2011).

Lo anterior representa un campo de oportunidad para el diseño, la fabricación y el reacondicionamiento de MH, siempre y cuando estas actividades permitan obtener productos de calidad y precio competitivos. Los factores involucrados en la decisión de remanufacturar o reconvertir una MH incluyen el ahorro en el tiempo, evitar el rezago tecnológico, tipo y tamaño de la máquina, la calidad de la piezas que se han de producir, el tiempo de espera y la seguridad (Drozda, Feb,1984); esta actividad ya se realiza en diversas empresas de la industria metal-mecánica en México, para lo que tuvieron que iniciar con una etapa de auto-capacitación de recursos humanos. La actividad de fabricación desde diseños propios de M-H es todavía poco significativa(Fabrica de Máquinas y Accesorios S.A de C.V, 2009).

### 1.1.2 Algunos aspectos relevantes sobre el diseño y la fabricación de MH en México.

En instituciones como el Instituto Politécnico Nacional se han desarrollado diversos proyectos relacionados con las MH, que van desde la elaboración de libros y publicaciones de información técnica sobre la operación de dichas máquinas, hasta la fundación de un centro de investigación en M-H (Instituto Politécnico Nacional, 1979), en el cual se llegó solo al diseño y a la fabricación de componentes mecánicos.

También se ha incursionado en proyectos que involucran además de la parte mecánica, la electrónica y el desarrollo de software, para generar máquinas de CNC (Torres-Martínez, 1992).

Dentro del CICATA-IPN unidad Querétaro se han realizado trabajos de tesis orientados a la optimización de elementos de M-H: Optimización del diseño de una bancada para máquinas herramienta (Bustos, 2008), y la determinación del módulo de Young dinámico en elementos de geometría irregular y su influencia en las vibraciones de una bancada para maquinado de alta velocidad (Hernández, 2010).

Como parte de los proyectos anteriores hechos en el CICATA-IPN unidad Querétaro, se hizo el diseño y la fabricación de la bancada y del cabezal para un torno-fresador didáctico con volteo de hasta 0.30 m, (Schlesinger, 1978); estos trabajos abarcaron desde el diseño y fabricación de los modelos de madera empleados para hacer los moldes en los que se fundieron los elementos básicos, que fueron posteriormente tratados térmicamente, maquinados y ensamblados. Hasta antes del presente trabajo de tesis no se habían realizado los carros principal, transversal y auxiliar del Torno-fresador, como tampoco sus sistemas de accionamiento electro-mecánico.

Respecto a la reconversión de M-H de convencionales a CNC en el IPN se han publicado algunos libros y manuales, relevantes por el tipo y calidad de información contenida sobre el tema (Segundo, 2004).

Actualmente en otros centros de desarrollo de tecnología ya existen proyectos de máquinas herramienta reconfigurables en desarrollo (León, 2010).



Figura 1.1 Ensamble de bancada, cabezal y estructura para torno-fresador realizado en el IPN(Hernández, 2010).

## 1.2 Definición del problema.

En la industria metal-mecánica mexicana existe la necesidad de actualizar su planta productiva, mediante la adquisición o reconversión de M-H adecuadas a sus requerimientos de producción, ya sea mediante el camino de la importación o mediante su desarrollo y fabricación en el país.

## 1.3 Propuesta de solución.

En el presente trabajo se propone el desarrollo de un proceso de manufactura y verificación para elementos de M-H, utilizables en la actualización de la planta productiva de las empresas mexicanas

## 1.4 Justificación.

En México es necesario el desarrollo de tecnología para la fabricación de máquinas-herramienta, para satisfacer la demanda interna con productos nacionales, que permita disminuir la desventaja generada por los tratados de libre comercio TLCAN, que facilitan el acceso a productos extranjeros con bajas tasas arancelarias.

No obstante que el desarrollo de tecnologías en la fabricación de M-H no es inexistente en México, se encuentra rezagado(León, 2010); se requiere principalmente de una metodología para pasar de la etapa de prototipo a producción en serie.

En el desarrollo de proyectos tecnológicos relacionados con las M-H, deben tomarse en cuenta las normas vigentes en las tolerancias dimensionales, geométricas, de posición y estado superficial aplicables (Jorge I. Gómez G, 2007), así como las consideraciones sobre SMR(Y, 2005) y (Mehrabi MG, 2000), y los sistemas MHR(R.G. Landers, 2001).

## **1.5 Objetivos de la Tesis.**

### **1.5.1 Objetivo general**

- Documentar y utilizar las metodologías de manufactura y verificación de elementos estructurales para M-H de aplicación específica, para participar en la integración de un torno-fresador, con fines de equipamiento para producción industrial o para instituciones educativas del área tecnológica.

### **1.5.2 Objetivos específicos.**

- Elaborar los planos de conjunto y de detalle de los carros longitudinal, transversal y auxiliar para un torno-fresador con volteo de 0.30 m.
- Elaborar las hojas de proceso para fabricar los carros del torno-fresador, tomando en consideración las capacidades tecnológicas disponibles en las empresas metal-mecánicas del estado de Querétaro.
- Fabricar los carros del torno-fresador así como realizar su verificación dimensional y geométrica, para determinar su precisión, repetitividad y resolución, bajo las normas ISO 230.6- 2002, ISO 230.1-1996 e ISO 1708:1989.
- Una vez aplicadas las normas antes mencionadas a la verificación de los elementos estructurales, desarrollar una metodología de verificación la cual pueda ser empleada en los talleres participantes en la fabricación de los componentes del torno- fresador, con el fin de permitir la mejora de calidad en sus productos.

## **1.6 Hipótesis.**

Se considera factible la fabricación de elementos para M-H en Querétaro, adecuadas a las necesidades de las empresas en dicho estado, porque en el mismo existe una industria dedicada a la proveeduría de materia prima y elementos de ensamble para las diversas factorías en el área metal-mecánica, que cuentan con la maquinaria, instalaciones y destreza técnica para la realización de elementos estructurales, de fundición o maquinadas en su totalidad, para M-H, por lo que se propone en el presente trabajo la elaboración de una metodología para la manufactura y verificación de elementos estructurales para máquinas herramienta.

## 1.7 Estrategias.

- Tomar como punto de partida las tendencias globales en el diseño de M-H en cuanto a sistemas de manufactura reconfigurables de CNC.
- Emplear las capacidades tecnológicas de la planta productiva ya instalada dentro del estado, para la manufactura de los elementos estructurales para M-H
- Empleando la capacidad instalada en metrología dentro del CICATA IPN unidad Querétaro, desarrollar una metodología de verificación para máquinas herramientas.

Tomar como fuente de financiamiento los apoyos económicos que otorga el IPN a través de sus proyectos SIP.

## **2 Actualidad y tendencias en los procesos de manufactura metal-mecánicos**

### **2.1 Actualidad en los sistemas de manufactura.**

En los mercados actuales los sistemas de manufactura deben reducir el tiempo para la implementación de sus modificaciones, que se originan por el cambio en las demandas de los consumidores y por la disminución en los ciclos de vida de los productos. Las líneas de transferencia tradicionales son diseñadas para un alto volumen de producción y operan basadas en un sistema de automatización fijo, por lo que no pueden adaptarse a los cambios en el diseño del producto de manera ágil. Los sistemas de manufactura de CNC proveen una flexibilidad generalizada, pero esta es relativamente lenta y costosa para su implementación, pues no se encuentra optimizada para un producto o familia de productos en particular (Koren Y, 1999).

#### **2.1.1 Sistemas flexibles de manufactura.**

La tecnología digital y las computadoras favorecen en diseño de los sistemas de automatización más flexibles, especialmente sistemas que puedan ser adaptados y programados para fabricar un nuevo producto en poco tiempo, a partir de las características iniciales de la maquinaria y equipo utilizado, reubicando el lugar físico de la planta instalada, sus sistemas de sujeción o el software que las controla. Estos sistemas pueden incorporar células de manufactura, constituidas por una máquina CNC y un robot, o sistemas que comprenden varias máquinas-herramienta y varios robots (Arriaga-Segundo, 1999).

Los sistemas flexibles de manufactura tradicionales se caracterizan por proveer una flexibilidad generalizada, ya que están diseñados anticipando las posibles variaciones dentro del producto a priori (ElMaraghy, 2006). Con el propósito de incrementar la flexibilidad de los sistemas de manufactura, se han incorporado a algunos de ellos máquinas-herramienta con capacidad de reconfigurarse tanto en su estructura como en sus módulos de control, en función de los nuevos productos a fabricar, dando lugar a los sistemas reconfigurables de manufactura.

#### **2.1.2 Sistemas de manufactura reconfigurables.**

Los sistemas de manufactura reconfigurables (SMR) prometen una flexibilidad a corto plazo y en el momento requerido, son aquellos cuyos elementos son máquinas-herramienta modulares, e incorporan controles abiertos y metodologías

para un diseño sistemático del proceso y su implementación de forma rápida(Y, 2005).

Los SMR se pueden dividir en dos categorías (Arai, 1994):

- Sistemas reconfigurables estáticos, cuyo diseño está basado en bloques de construcción en un mismo puesto de trabajo.
- Sistemas reconfigurables dinámicos, que emplean transportadores en la transferencia de componentes entre máquinas del sistema, aunque su capacidad de reconfiguración es limitada.

Las tres consideraciones principales sobre estos sistemas son (Publication, 1984), (Lee, 1997):

- Diseño de los sistemas de manufactura para ser reconfigurables.
- Diseño de los componentes para ser reconfigurables.
- Diseño integral de los sistemas y de los componentes.

### 2.1.3 Máquinas-Herramienta Reconfigurables.

En vez de construir sistemas de maquinado desde cero cada que se requiere una nueva pieza, el sistema existente puede ser reconfigurado para producirla (Rodríguez., 2010) utilizando máquinas-herramienta reconfigurables (MHR).

Con el fin de proveer exactamente la funcionalidad y capacidad requerida para procesar una familia de piezas, dada una secuencia preestablecida de operaciones a ser realizadas, las MHR pueden ser ensambladas con los módulos de herramientas apropiados(Kota, 1999) para realizar dicha familia de piezas determinadas.

Esto significa que una MHR no es una máquina universal, sino una máquina configurada para realizar solo aquellas operaciones requeridas para fabricar un determinado tipo de pieza(J.Saha, 2009).

Para lograr una mejor reconfiguración, se pretende apoyar esta en la teoría de la síntesis de tareas utilizada en robótica, en la cual el tipo y arreglo de los módulos es determinado por la tarea asignada (Khosla†, 1993).

No obstante que apenas un número limitado de sistemas robóticos reconfigurables ha sido reportado (Fei Y, 2005), se ha comenzado a implementar este procedimiento a las MHR, encontrándose que la tarea a realizar se complica debido a la reorientación de los husillos de maquinado por no usar estas un sistema de control de lazo cerrado.

La parte crítica de la reconfiguración en las MH radica en identificar las reorientaciones de los husillos de trabajo, de manera conjunta con el desplazamiento de los ejes de alimentación y sus efectos en la viabilidad de los mismos. Ya que las MHR son orientadas con respecto a una familia de partes, los cambios del husillo y eje de alimentación deben ser realizados a partir de las especificaciones de diseño de dicha familia(C. Ling, 1999).

Algunos obstáculos que se presentan en el desarrollo de las MHR incluyen:

- i. Las dificultades para identificar y generalizar los requerimientos de diseño, ya que las MHR son orientadas a la aplicación.
- ii. La falta de herramientas de programación robótica eficiente, ya que los elementos robóticos son componentes esenciales en la mayoría de los SMR.
- iii. La falta de tecnologías efectivas que puedan emplearse para el sustento de sistemas de configuración.
- iv. No existe una organización internacional que normalice los componentes modulares para los procesos de manufactura y ensamble.
- v. La falta de trabajos en la implementación de sistemas heterogéneos compuestos de diferentes tipos de SMR(V. MALHOTRA\*, 2010).

## 2.2 Tendencias en los sistemas de manufactura.

El enfoque principal es atender la necesidad de las empresas modernas de vanguardia, que tienen liderazgo en el manejo de tecnología, capacidad e innovación, de competencia abierta, globales, sustentables y altamente calificadas, no enfocadas originalmente en la producción intensiva sino en el desarrollo de nuevos productos y servicios; la Figura 2.1 muestra un ejemplo sobre el desarrollo de productos, sistemas de fabricación y comercialización observada en los últimos 25 años del siglo pasado (B, 1996). Las tendencias de los sistemas de manufactura para dichas empresas abarcan principalmente dos aspectos: el uso de nuevos productos tecnológicos en sus procesos y el uso de máquinas reconfigurables.

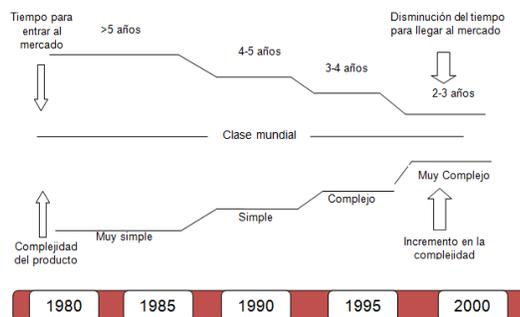


Figura 2.1. Evolución de la manufactura en términos de la complejidad de producción y el tiempo para salir al mercado en la industria automotriz.

### 2.2.1 Tendencias tecnológicas.

Los procesos de manufactura además de tender a la automatización, buscan también ser autónomos con el fin de disminuir costos, incrementar la productividad, la flexibilidad, la fiabilidad y la calidad de producción(ASCAMM centro tecnológico, 2008). Para ello se están soportando en los siguientes aspectos principales:

- El uso de nuevos procesos de manufactura, como por ejemplo el maquinado asistido por laser, por vibración, por ultrasonido, maquinado a altas velocidades, hidro-erosionado, etc.
- Tecnologías avanzadas, basadas en sensores para control y evaluación en tiempo real, orientadas a la “producción inteligente”. Su evolución está ligada a la evolución de los sensores y las mediciones en línea con la máquina
- Sistemas avanzados de medida on-line de las características, físicas y químicas de los materiales y componentes producidos, incluyendo el control dimensional automatizado.
- Incorporación de sistemas de monitorización de herramientas para la detección de fractura.
- Incorporación de sistemas de monitorización en el cambio dentro del intervalo de tolerancia de la repetitividad de la máquina, para la detección de fallas en la misma.
- Herramientas avanzadas de simulación que permitan optimizar la secuencia del proceso basándose en referencias a experiencias anteriores.
- Máquinas inteligentes basadas en modelos con arquitecturas de control abierto, que incorporan dispositivos de monitorización y diagnóstico autónomos e inteligentes, para incrementar su flexibilidad.

### 2.2.2 Máquinas reconfigurables.

Las tendencias principales dentro de las máquinas reconfigurables en los sistemas de producción actuales son:

- Mecanizado multitarea y multiproceso en una sola máquina; se busca la realización de todas las operaciones con una única fijación de la pieza. Requiere un diseño optimizado de mordazas y ubicación de los ejes de la máquina.
- Introducción de nuevas capacidades en los centros de torneado-fresado:
  - Tornos “twin” para mecanizar en plato piezas por ambas caras.
  - Herramientas motorizadas en la torreta porta-herramientas capaces de fresar, taladrar, enroscar, etc.
  - Incorporación de cabezales de fresado independientes.

- Máquinas que incorporen procesos mixtos de fresado/rectificado y torneado/rectificado.
- Métodos de asistencia al fresado o torneado para mejorar el mecanizado de materiales de baja maquinabilidad, por ejemplo el torneado asistido por inyección de nitrógeno líquido o mecanizado criogénico.
- El mecanizado de superaleaciones y cerámicas asistido por ultrasonidos.
- Máquinas láser multifuncionales, que integran corte, doblado, soldadura y procesamiento de superficies.

Las MHR se ven como una tecnología prometedora por sus características inherentes en el área de ajuste en la producción con menores tiempos de cambio de herramienta. Debido a su estructura modular y facilidad de integración puede complementar otros sistemas de producción y es capaz de complementar las áreas más débiles de las mismas(M.G Meherabi, 2002).

El área de investigación en MHR y sistemas de manufactura flexibles es considerablemente amplia y posee un número de áreas para investigación futura como son(al., 2010):

- El desarrollo de una metodología de evaluación para determinar si se requiere de un sistema flexible y reconfigurable.
- El desarrollo de una metodología de análisis de la flexibilidad y reconfigurabilidad en un sistema de manufactura existente por medio de metodologías complementarias.

### 3 Marco Teórico.

#### 3.1 Estructura y Capacidad de Reconfiguración de un Sistema de Manufactura.

Un sistema de manufactura reconfigurable es diseñado teniendo en mente un cambio rápido en su estructura, tanto en el hardware como el software, y se conforman como se muestra en la Figura 3.1. Comparación entre diferentes tipos de sistemas de manufactura metal-mecánica., ajustándose de manera rápida a la capacidad de producción y funcionalidad de una familia de piezas (Bo Xing a, 2007), en respuesta a un cambio repentino del mercado o requerimientos de una nueva regulación(Orban, 2007).

Tipo de Hardware / Tipo de Software	Hardware fijo	Hardware reconfigurable
Sin Software	Máquinas manuales Líneas dedicadas	Líneas convertibles
Software fijo	Robots CNC Máquinas de Software fijo	Máquinas modulares
Software reconfigurable	Arquitectura abierta modular del controlador	Máquinas reconfigurables con controles reconfigurables  ↓ <b>SRM</b>

Configuración del sistema,  
reglas y economía

➔

Figura 3.1. Comparación entre diferentes tipos de sistemas de manufactura metal-mecánica.

La estructura de un SRM es modular, lo que permite que la topología del sistema puede ser cambiado agregando o quitando módulos (Orban, 2007).

Los sistemas modulares satisfacen diferentes funciones generales por medio de la combinación de distintos bloques de construcción (Koren Y, 1999). Dichos bloques o módulos se encuentran mapeados uno a uno en las subfunciones del sistema, para que las arquitecturas física y funcional se mantengan similares(Kamarani AK, 2000). La interacción entre los módulos es minimizada para evitar la influencia de cualquier cambio entre ellos, lo que ayuda al sistema completo a trabajar correctamente (K, 1995). Con la habilidad de agregar, quitar, reacomodar o reemplazar las unidades funcionales de manera rápida, el acercamiento modular permite a los SRM proveer funcionalidad y capacidad ajustable (K, 1995), un ejemplo de ello se muestra en la Figura 3.2. Desarrollo de un sistema de manufactura reconfigurable.

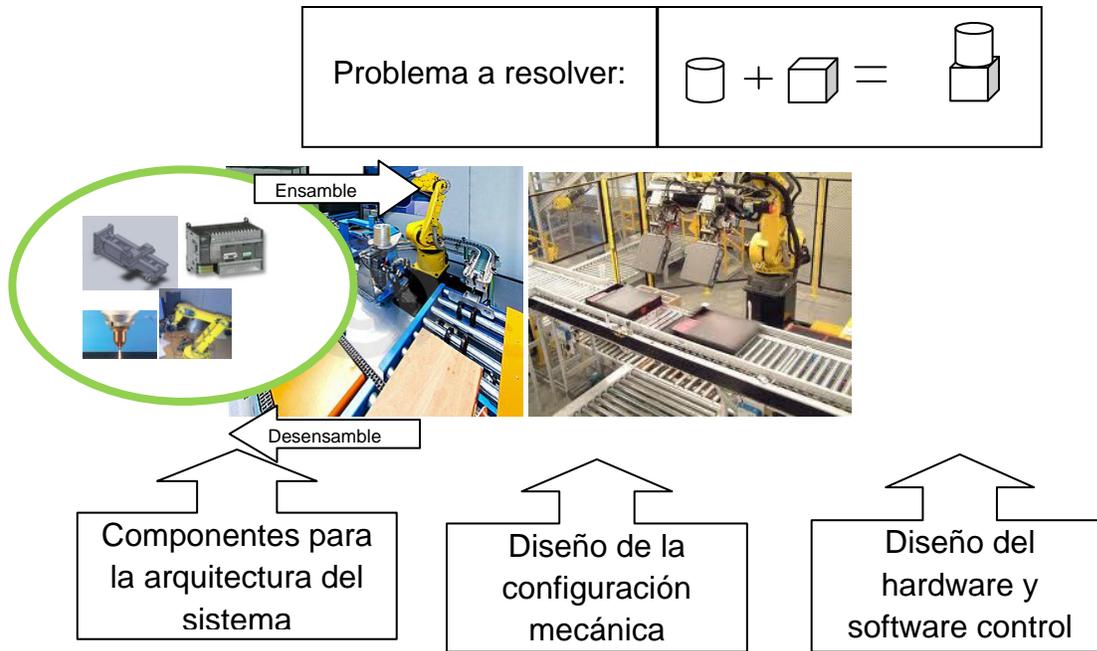


Figura 3.2. Desarrollo de un sistema de manufactura reconfigurable.

El grado en que un sistema es reconfigurable puede ser cuantificado en términos de la posibilidad de:

- Integrar rápidamente los módulos (integrabilidad).
- Modificar la funcionalidad del sistema (convertibilidad).
- La habilidad de adaptar la capacidad del sistema (escalabilidad).
- Restringir la flexibilidad, a la requerida para una familia dada de piezas (personalización).

Este último parámetro ayuda a evitar capacidad y funcionalidad innecesaria, buscando disminuir los costo del SRM(Eberhard Abele, 2007).

Diversas metodologías y ecuaciones aplicables en la evaluación de la capacidad de reconfiguración de un sistema de manufactura, pueden ser consultadas en(Renna, 2010), y relacionan los tiempos de retraso en las fechas de entrega con los tiempos de cada operación y otros parámetros de la producción.

El enfoque más importante de la evaluación de un sistema de manufactura es el aspecto económico, el cual está muy relacionado con la amortización del tipo de máquinas que componen el sistema de manufactura; estas pueden ser dedicadas, multipropósito o reconfigurables, habiéndose encontrado que las que presentan una mejor relación costo beneficio son las máquinas reconfigurables, dentro de una producción cambiante.

Otro enfoque importante en la evaluación de los sistemas de manufactura son los tiempos de reconfiguración de la línea de producción, y los tiempos de mantenimiento preventivo y correctivo de las máquinas en la línea.

### 3.2 Sobre los módulos mecánicos en una MHR.

La arquitectura de una MHR puede ser estructurada de forma jerárquica; las funciones de cada módulo pueden ser clasificadas de acuerdo a una plataforma de operaciones semejantes.

Por ejemplo, los módulos de función incluyen operaciones de maquinado por desprendimiento de viruta como son fresado, taladrado, torneado y desbastado, operaciones sin desprendimiento de viruta como corte con laser, soldadura y endurecimiento superficial, operaciones de ajustes iniciales como es el manejo de herramientas y de material, así como operaciones de verificación dimensional y geométrico para el control de calidad en el producto(Abele E, 2005). Los módulos pueden ser divididos en otros sub-módulos como sistemas de husillos o herramientas.

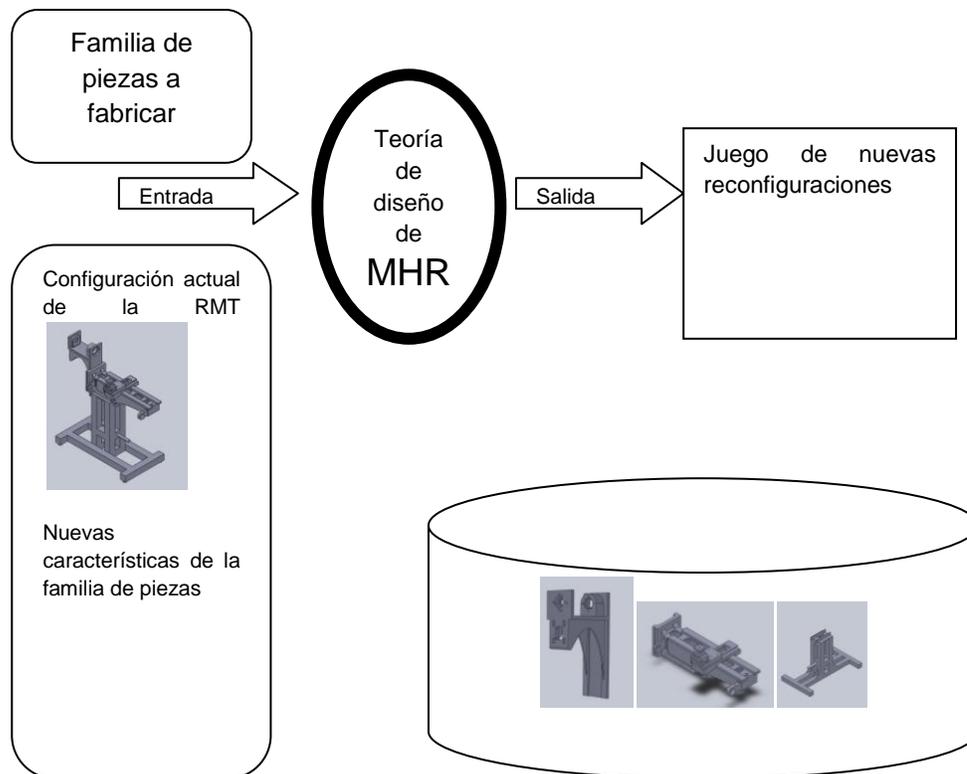


Figura 3.3 Proceso de diseño de una maquina reconfigurable (Moon).

Uno de los principios básicos de las MHR es la ejecución de tareas simultáneas, que permite una reducción significativa del tiempo de maquinado primario(Eberhard

Abele, 2007). La instalación de módulos de maquinado dentro de la plataforma debe ser congruente con la función que ha de realizar, basados en la teoría de las características de mecanizado de las formas de: escalón, agujero, ranura, caja, cilindrado, etc., de forma tal que las operaciones de maquinado se puedan llevar a cabo simultáneamente, basados en la propuesta del enriquecimiento de las características de mecanizado (J.Saha, 2009), que puede evaluarse de forma matemática como ecuación (3.1):

$$MF_i = \left[ \bigcup_{m=1}^M f_{im}^{MF}(GF_i), \bigcup_{n=1}^N f_{in}^{MF}(VF_i), \left[ \bigcup_{0=1}^0 f_{il}^{MF}(SF_i^T), \bigcup_{p=1}^P f_{il}^{MF}(SF_i^B) \right] \bigcup_{n=1}^Q f_{io}^{MF}(CI_i) \right] \quad (3.1)$$

Donde :

<b>MF</b>	<b>Característica de mecanizado</b>
<b><math>MF_i</math></b>	<i>i</i> neava característica de mecanizado
$\bigcup_{m=1}^M f_{im}^{MF}(GF_i)$	Unión de los conjuntos de atributos de la información geométrica.
$\bigcup_{n=1}^N f_{in}^{MF}(VF_i)$	Unión de los conjuntos de atributos de la información de volumen
$\bigcup_{0=1}^0 f_{il}^{MF}(SF_i^T)$	Unión de los conjuntos de atributos de la información de la parte superior de la superficie
$\bigcup_{p=1}^P f_{il}^{MF}(SF_i^B)$	Unión de los conjuntos de atributos de la información de la base de la superficie
$\bigcup_{n=1}^Q f_{io}^{MF}(CI_i)$	Unión de los conjuntos de atributos de la información de la producción general

Los módulos diseñados han de seguir una metodología establecida, Katz ha señalado algunos principios básicos y consideraciones generales para el diseño de las MHR (Katz, 2007). Para que la máquina-herramienta cumpla con las demandas de productividad y calidad de operación, debe cumplir con una serie de requisitos entre los que están la habilidad de producir desplazamientos específicos para sus operaciones, y las tolerancias obtenidas en las piezas fabricadas.

El algoritmo básico propuesto por Shinno et al (Hidenori Shinno, 1991) para la disposición del diseño de una MH, explota la prioridad en las entradas de información, el grado de conectividad existente entre las entradas y los factores de diseño y la conexión entre los factores de diseño entre sí; las entradas de información han de ser ordenadas en base a su prioridad. Una mejora en el proceso de diseño de MH se desarrolló por Nategh y Tabatabaie (Tabatabaie, 2007), consistente en incorporar un factor de ponderación adicional a los elementos de

diseño, en función del grado de conectividad con la información de entrada y otros factores de diseño, aplicando la ecuación (3.2)

$$P_i(x) = \frac{W_{imax}-W_i(x)}{W_{imax}-W_{imin}} * (m_i - 1) + 1 \quad (3.2)$$

Donde  $P_i(x)$  es la prioridad de la entrada de información de diseño  $i$ ,

$W_{imax}$  y  $W_{imin}$  son el máximo y el mínimo valor de la ponderación de la información de entrada  $i$ ,

$W_i(x)$  la ponderación dada al elemento  $i$ ,

$m_i$  el numero de elementos de entrada.

Cuando la  $(n + 1)$ ava prioridad es determinada, el grado de conectividad  $C_i(y)$  existente entre el  $i$ neavo factor de diseño y la entrada de información se define mediante la ecuación (3.3):

$$C_i(y) = \sum_{x=1}^{m_i} \frac{CI_{yi}(X)}{100} ((n + m_i + 1) - P_i(x)) \quad (3.3)$$

Donde  $CI_{yi}(X)$  es la ponderación asignada a la conexión existente entre la  $y$ neavo factor de diseño y la  $x$ neava entrada de información, indicando la intensidad en su conexión. Este factor es llamado la intensidad de conexión y tiene un rango de 0 a 100 siendo 0 una conexión inexistente y 100 una conexión absoluta.

El grado de conectividad existente entre el factor de diseño  $y$ neavo y el factor precedente, el cual ya ha decidido sus prioridades, se calcula subsecuentemente mediante la ecuación (3.4):

$$C_d(y) = \sum_{k=1}^n \frac{CI_{yd}(k)}{100} ((n + 1) - Pd(k)) \quad (3.5)$$

Donde  $CI_{yd}(k)$  es el factor de intensidad de la conexión, como un indicador de la conexión existente entre los factores  $y$ neavos y  $k$ neavos de diseño,  $Pd(k)$  es la prioridad ya asignada al  $k$ neavo factor de diseño.

Por ejemplo, para los centros de maquinado la exactitud de la posición y la repetitividad son los factores más importantes, por lo que se les asignan las ponderaciones de prioridad más altas. El rango de las velocidades de alimentación y la velocidad de desplazamiento transversal afectan de manera directa la producción, por lo cual son los que siguen en prioridad después de la exactitud y la repetitividad en la máquina.

Existen dos especificaciones clave durante la etapa de diseño mecánico de una máquina modular: viabilidad cinemática y rigidez estructural(Landers, 2000). Una buena viabilidad cinemática hace que la maquina realice los desplazamientos requeridos para producir las características que se requieren; una estructura de rigidez confiable disminuye la posibilidad de errores geométricos(Irem Y. Tumer, 1995).

Las máquinas reconfigurables pueden producir un número predeterminado de operaciones, determinadas por la familia específica de piezas a producirse en una máquina, con una elevada repetitividad, fiabilidad y una alta producción, presentando el ensamble de la configuración óptima para dicho propósito(Chen, 1994). La limitada flexibilidad de reconfiguración de una MHR permite una reducción en los costos de inversión por una parte, mientras que su aplicación a solo una familia de piezas la habilita para dar una rápida respuesta cuando haya un cambio en la producción(Katz, 2007).

### **3.3 Exactitud y repetitividad en una máquina-herramienta.**

3.3.1 Exactitud en las características dimensionales, geométricas, de forma, posición y de estado superficial a verificar en una MH.

El diseño y la construcción de una máquina herramienta están determinados por la habilidad requerida para mantener dentro de tolerancias las características dimensionales, geométricas, de forma, posición y de estado superficial en las piezas a fabricar.

La calidad en una máquina -herramienta recae de manera principal en dos rubros: la exactitud en términos geométricos y cinemáticos, ya sea bajo carga estática, dinámica o térmica; y la fiabilidad del comportamiento de la máquina durante su operación por largos periodos de tiempo(Kalpakjian, 2000). Para garantizar el cumplimiento de exactitud en los maquinados con la MH, existen diversas normas de verificación que deben cumplirse, entre las cuales se encuentran principalmente; ISO 230.6-2002 (International Standard Organization, 202), ISO 230.1-1996 (Internationa Standard Organization, 1996) e ISO 1708:1989 (International Standard Organization, 1989).

3.3.2 Elementos que afectan la repetitividad en una máquina herramienta.

El diseño de las máquinas CNC requiere considerar adicionalmente la necesidad de asegurar la repetitividad del posicionamiento por un tiempo específico. Existen también diferentes normas (Mullany, 2007) en los cuales se basan los

procedimientos para la determinación de la repetitividad de una máquina herramienta.

La exactitud geométrica de una superficie maquinada es afectada de manera considerable por diferentes fuentes de error, que van desde errores existentes en la máquina-herramienta misma, hasta errores debidos a los procesos de corte. La figura 3.4 muestra las fuentes más comunes de error que afectan la repetitividad geométrica en el maquinado(Kakino Y., 1993).

Las fuentes de error en las máquinas herramienta, que ocasionan la desviación de la herramienta con respecto a la pieza de trabajo, generando errores geométricos de maquinado, son los errores de posicionamiento y volumétricos(Ji Hung Jung, 2006).

Los errores de posicionamiento son definidos como los errores lineales en el mecanismo de posicionamiento, cuya dirección es paralela al eje de movimiento requerido para obtener la posición deseada. Los errores volumétricos son definidos como el error de los componentes cuyas direcciones son perpendiculares a la dirección del eje del movimiento (Uddin, 2007).

Los errores se generan por el desgaste y roce normal de las piezas, choques, y piezas dañadas o desgastadas debido al movimiento de las mismas(Prasad, 2006).

Se supone que por medio de la calibración y compensación regular se podrá identificar y corregir dicho problema. Sin embargo, con el decremento en la repetitividad de la máquina herramienta, los estándares de repetitividad y los métodos de calibración han de cambiar de igual manera(Shlesinger, 1945).

Las causas principales en los errores dentro de las máquinas-herramienta son:

- Errores en el sistema de escalamiento (lazo de control cerrado) que son causadas por una expansión o contracción uniforme de la escala lineal.
- Errores en el sistema de posicionamiento del husillo de bolas (maquina de lazo semicerrado) el cual es causado por una expansión o contracción uniforme de husillo, error de paso, backlash, errores de acoplamiento, etc.
- Errores en los servos del sistema de control

Los errores volumétricos en las M-H incluyen errores de rectitud, cuadratura u ortogonalidad, y errores angulares (Cecil, 1998)

Además de las fuentes de error en el sistema MH, los procesos de maquinado tienen un efecto directo en la exactitud de la geometría de la superficie maquinada

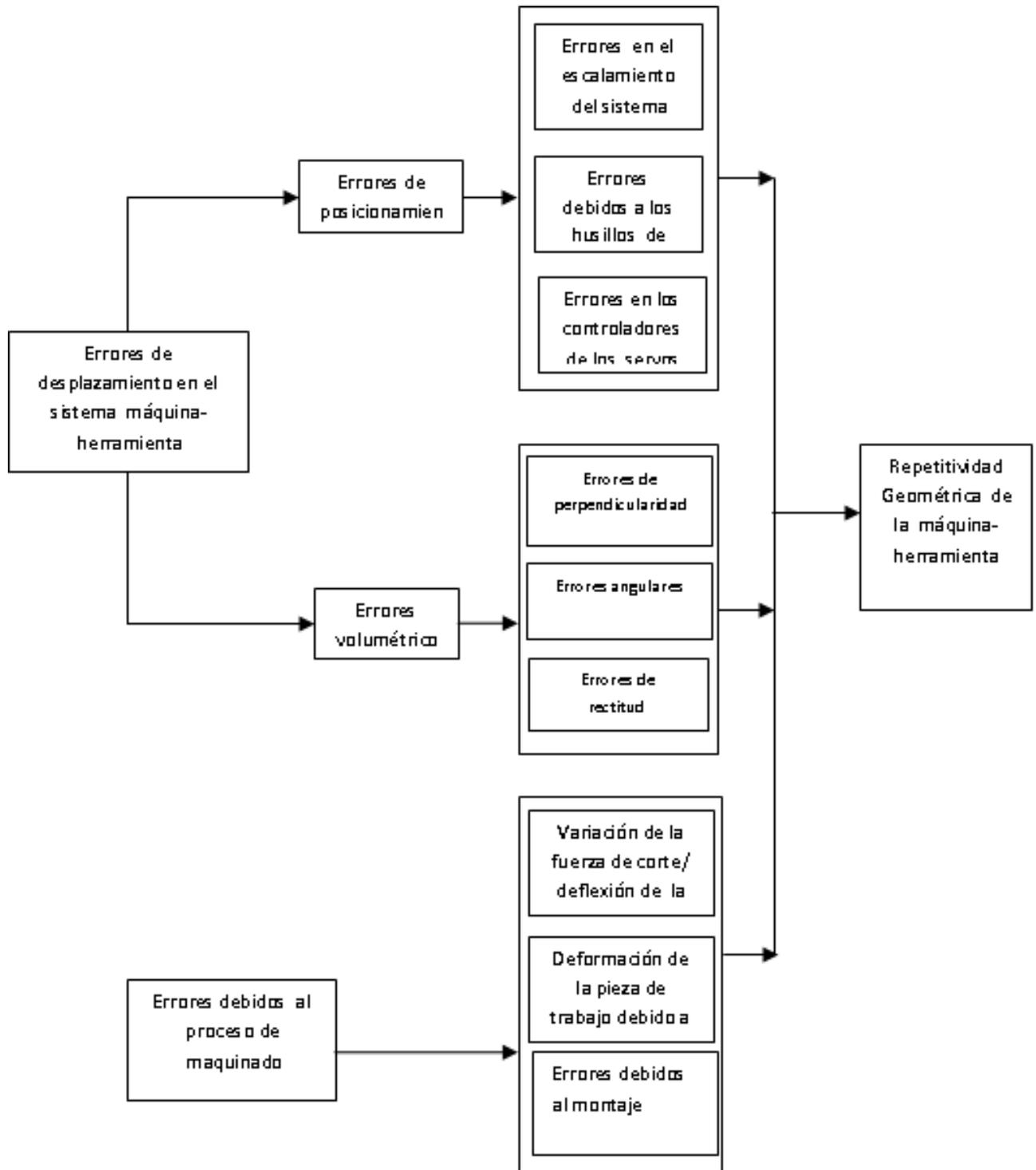


Figura 3.4. Fuentes más comunes de error que afectan la repetitividad geométrica en el maquinado

### 3.3.3 Evaluación de la exactitud y la repetitividad:

La exactitud se relaciona con el error absoluto,  $\epsilon$  que se define como la diferencia entre el valor verdadero aplicado a un sistema de medición y el valor indicado en el sistema ecuación 3.6 (Richard Figliola, 2003).

$$\epsilon = \text{valor verdadero} - \text{valor indicado} \quad (3.6)$$

A partir del cual el porcentaje de exactitud  $A$  se determina mediante (3.7):

$$A = \left(1 - \frac{|\epsilon|}{\text{valor verdadero}}\right) \times 100 \quad (3.7)$$

En las MH, la evaluación de la exactitud se relaciona con el error de medición, por ejemplo en movimientos de desplazamiento de la herramienta, durante pruebas o corridas sucesivas hacia un número de puntos destino (Erik Oberg, 2008).

La repetitividad de un sistema se refiere a la capacidad del sistema para indicar un valor particular con aplicaciones repetidas, pero independientes de un valor de entrada como referencia específica, es la dispersión de la curva normal en el punto de destino que posee la mayor desviación. Un sistema de medición puede ser altamente repetitivo pero de muy baja exactitud.

La repetitividad en una máquina-herramienta se refiere a la habilidad de ésta para posicionar repetitivamente la punta de la herramienta en un punto pre-programado. En la práctica se espera que haya una dispersión o distribución de las mediciones obtenidas, cuyo valor central promedio tendrá un sesgo respecto del punto objetivo.

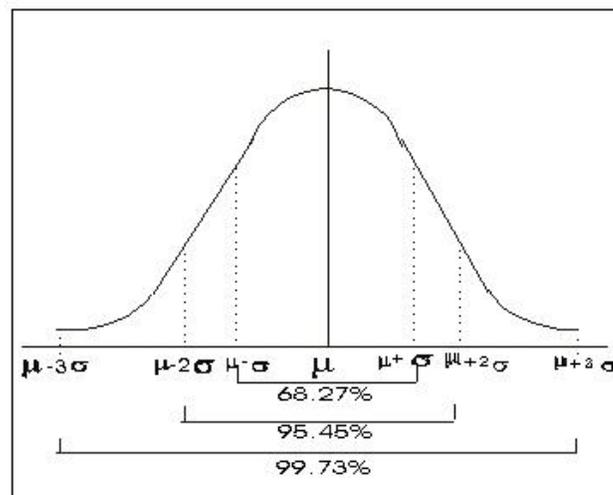


Figura 3.5: Curva de distribución normal

Graficando los resultados de una alto número de corridas genera una curva de distribución normal, como se muestra en la Figura 3.5: Curva de distribución normal, porcentajes de los puntos que caen dentro de ( $\pm 1\sigma$ ) 64%, dentro de ( $\pm 2\sigma$ ) 95.44% y dentro de ( $\pm 3\sigma$ ) es de 99.74%.

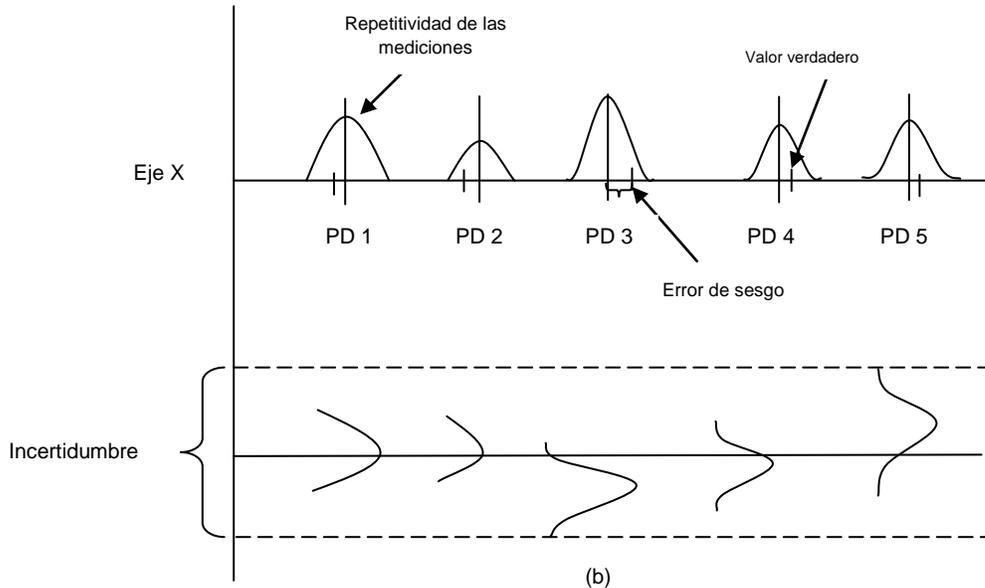


Figura 3.6. Dos formas diferentes de graficar la dispersión de los errores de medición en 5 puntos

### 3.4 Incertidumbre en las mediciones:

La incertidumbre de un sistema de medición permite estimar el error probable en vez del error real; se define como el intervalo de una distribución normal en torno al valor medido, dentro del cual se supone debe estar el valor verdadero, como se muestra en la Figura 3.6. Dos formas diferentes de graficar la dispersión de los errores de medición en 5 puntos

#### 3.4.1 Identificación de las fuentes de incertidumbre.

Una vez determinados el mensurando, el principio y el método de medición, se identifican las posibles fuentes de incertidumbre (Martínez, 2000).

Éstas provienen de los diversos factores involucrados en la medición, por ejemplo:

- Los resultados de la calibración del instrumento;
- la incertidumbre del patrón o del material de referencia;
- la repetitividad de las lecturas;

- la reproducibilidad de las mediciones por cambio de observadores, instrumentos u otros elementos;
- características del propio instrumento, como resolución, histéresis, etc.
- variaciones de las condiciones ambientales;
- la definición del propio mensurando;
- el modelo particular de la medición;
- variaciones en las magnitudes de influencia.

Las reglas para determinar la exactitud en las máquinas-herramienta han sido estandarizadas en las guías revisadas por la AMT (Asociation For Manufacturing Technology) en 1972. Algunos fabricantes de Europa usan las normas alemanas VDI/DGQ 3441 (Association of German Engineers , 1977) las cuales son similares a las que se encuentran en las guías del (AMT), en las cuales se usan la distribución normal de las mediciones en diversos puntos escogidos a través del eje. Los estándares japoneses JIS-B-6201(Japan Machine Tool Builders' Association, 1993), JIS-B-6336(Japanese Standar Association, 2002) y JIS-B-6338 (Japanese Standar Association, 1985) son un tanto más simples y consideran únicamente la dispersión de las lecturas, tal que la repetitividad es casi el doble que aquella proporcionada por el método AMT o VDI. La organización internacional de estándares ISO en 2006, propone la norma ISO 230-2 (International Standard Organization, 2006), la cual sigue los procedimientos descritos anteriormente, no obstante es un poco menos estricto en con las normas del AMT.

La importancia de la exactitud en las máquinas de CNC es mayor, se considera que deben, de manera general ser tan exactas y consistentes como sus contrapartes convencionales (Chattopadhyay, 2008).

En la actualidad los controles de CNC mejorado la exactitud de las máquinas-herramienta(Teruel, 1984), gracias a mejoras en su capacidad de compensar de manera automática las inexactitudes mecánicas, como son: errores de planitud y rectitud en las guías, paralelismo y perpendicularidad en los desplazamientos de la herramienta, el calentamiento, etc.

La exactitud de una máquina herramienta depende también de las condiciones del ambiente, como son temperatura, presión atmosférica, vibraciones locales y humedad relativa. El estándar ISO 230-2 (International Standard Organization, 2006) requiere que en la medida de lo posible, la temperatura ambiente para realizar dicha prueba se encuentre en el rango de 19.5 y 20.5 grados °C.

### **3.5 Efecto de la exactitud de la maquinaria en las tolerancias dimensionales y geométricas de las partes.**

La exactitud de una parte producida es afectada por la dinámica de la máquina, las herramientas de corte, la alineación, la repetitividad en la sujeción, los ajustes del operador y la exactitud de las herramientas de control; no obstante la exactitud de la maquinaria (Hale, 1999) es posiblemente la de mayor importancia entre todas las anteriores. La exactitud en la rotación de la pieza, o el centrado de la pieza, también tienen una gran influencia en la exactitud general de la pieza (Holek, 2003).

Las tolerancias en las partes mostradas en los planos, usualmente se encuentran dentro de un bloque de control bajo la norma ASME Y14.5M-1994(Wilson, 1997).

La relación entre la exactitud requerida en la parte a fabricar y la precisión de la posición en vacío de la herramienta de la máquina puede variar de 1.7:1 a 8.31:1, dependiendo del tipo de operación de corte a realizar. En general la tolerancia de fabricación  $T_f$  con relación a la tolerancia de la pieza que llamaremos  $T_p$ , se expresa como (3.8):

$$T_f = T_p - 2Dg \quad (3.8)$$

Donde  $Dg$  representa los errores geométricos de la máquina-herramienta.

### **3.6 Diseño y Manufactura de Piezas Metal-mecánicas.**

El proceso para fabricar los bienes de consumo o producción consiste básicamente de las etapas que se indican en la Figura 3.7 Proceso de satisfacción de una necesidad. Este proceso tiene por objeto establecer una sucesión lógica de las diferentes etapas para la realización de una pieza.

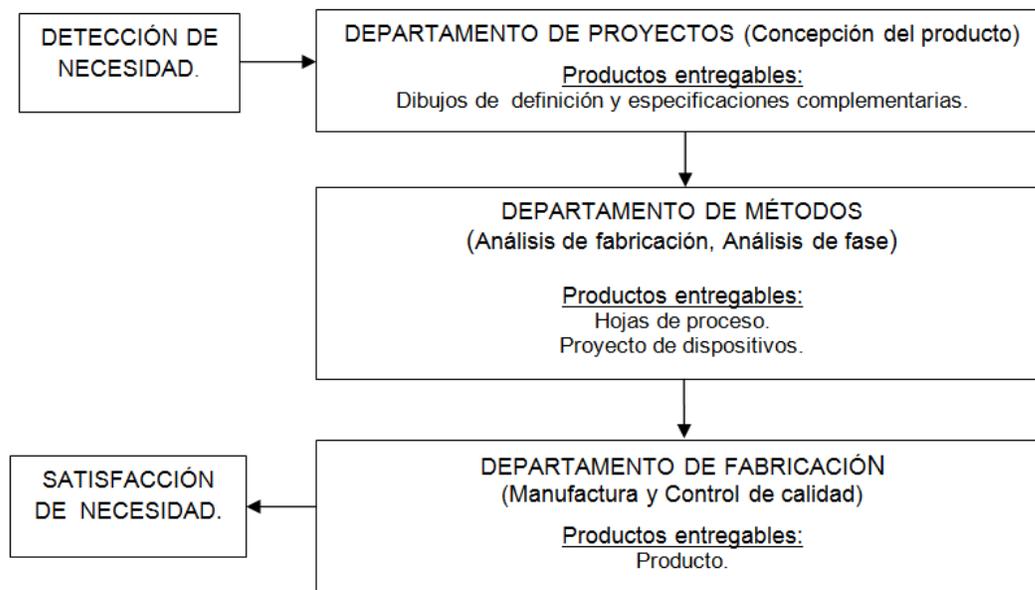


Figura 3.7 Proceso de satisfacción de una necesidad de productos metal-mecánicos.

### 3.6.1 Departamento de diseño o proyectos.

Los estudios correspondientes a cada departamento que interviene en la generación de un producto metal-mecánico, deben hacerse teniendo en cuenta los recursos físicos y humanos disponibles (A.Chevalier, 2010), respetando las características especificadas en el dibujo de definición del producto y buscando llevar al mínimo los costos de fabricación; la retroalimentación dentro del ciclo correspondiente al departamento de diseño o proyectos se muestra en la Figura 3.8 los productos entregables en este caso dibujos técnicos con especificaciones de la pieza metal-mecánica se presentan generalmente en una plantilla que contiene información necesaria para las actividades de control interno, así como una memoria de cálculo.

La Figura 3.9 muestra un dibujo de ensamble y la Figura 3.10 se muestra los dibujos de detalle correspondientes a dicho ensamble. La Figura 3.11 muestra un ejemplo de formato para la presentación de resultados de la memoria de cálculos que se realizan en el departamento de diseño.

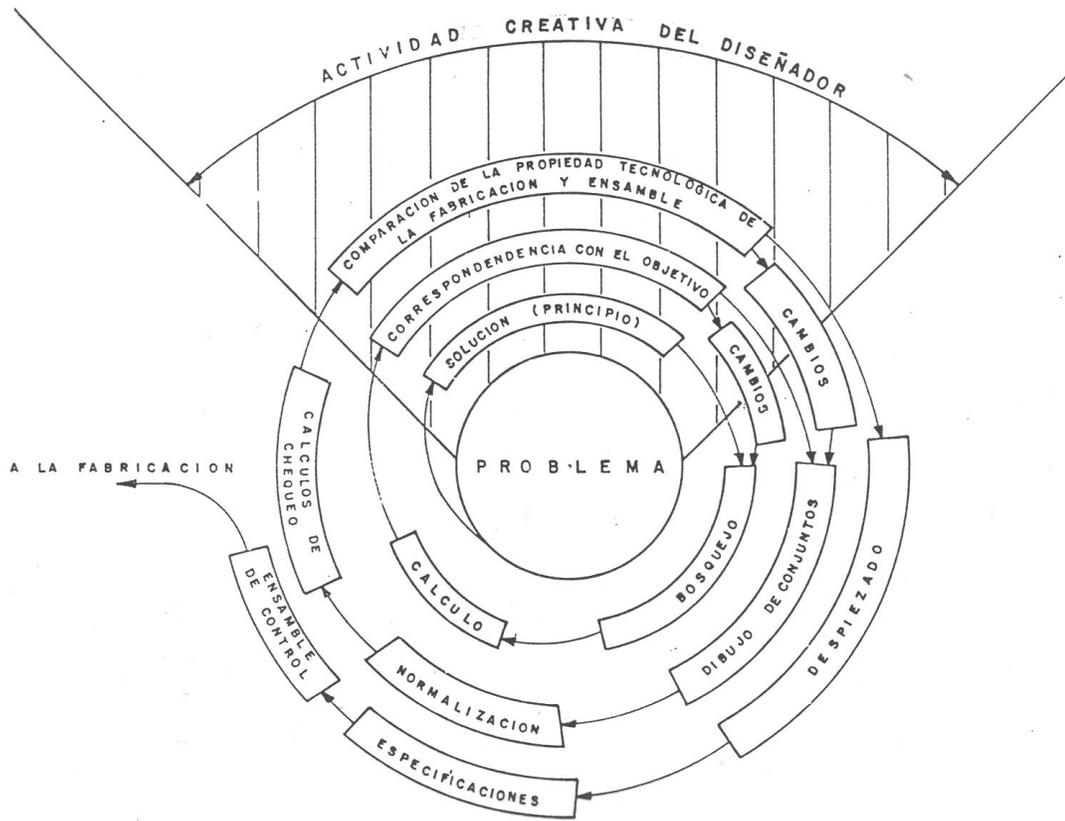


Figura 3.8 Secuencia de actividades en diseño de productos metal-mecánicos.

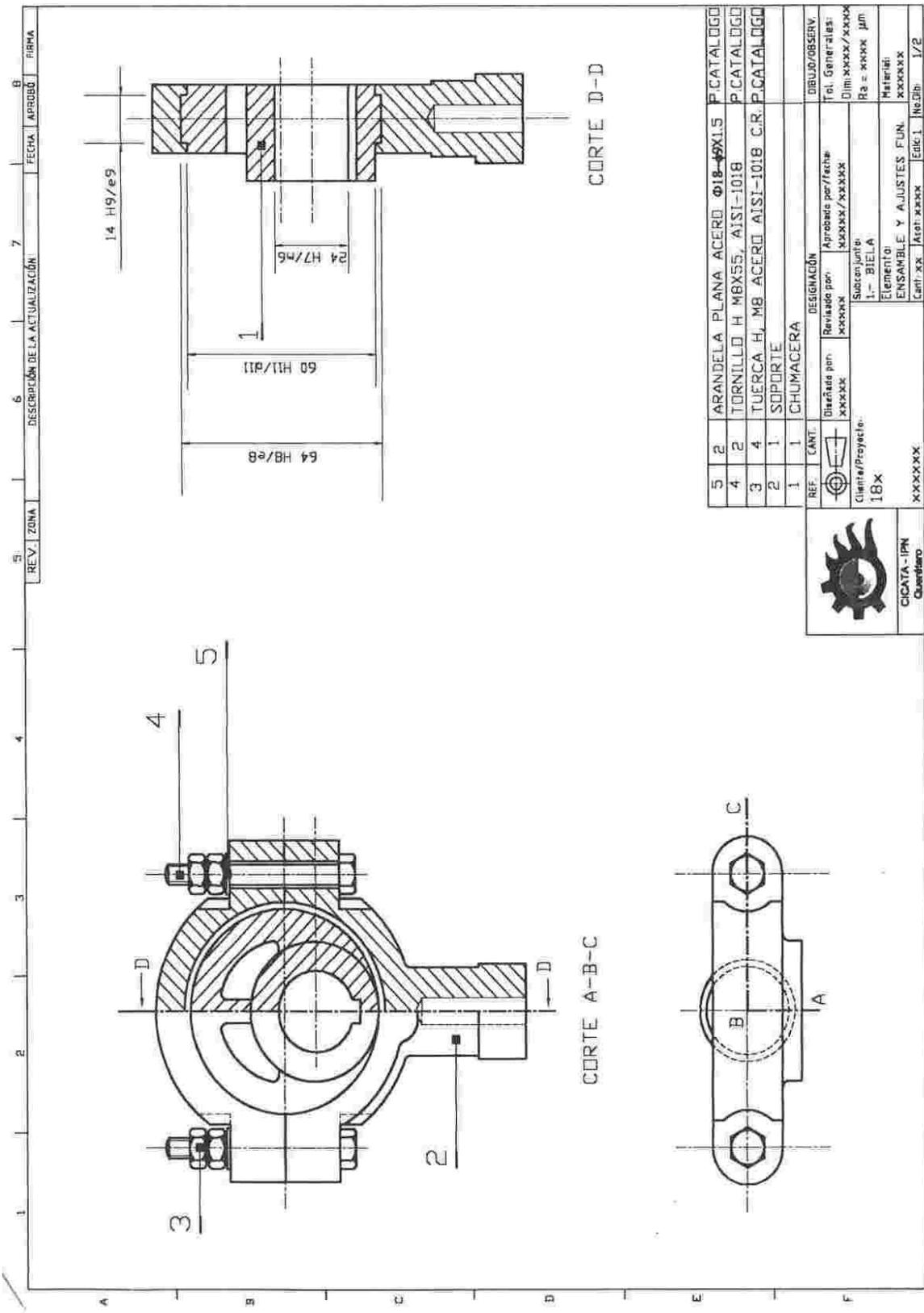


Figura 3.9 Dibujo de conjunto de una biela y leva circular.

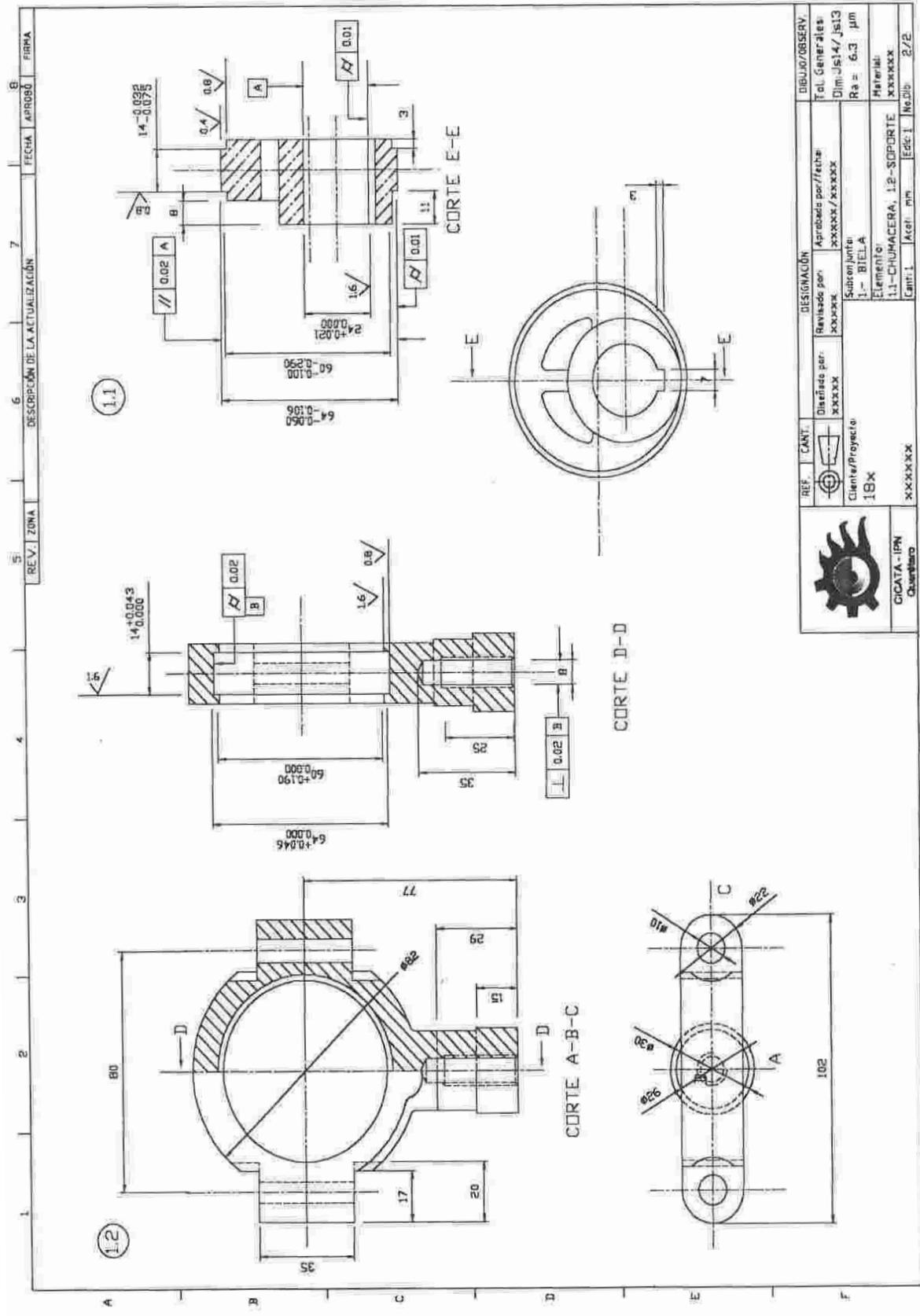


Figura 3.10. Dibujo de detalle de biela (1.2) y leva circular (1.1).

### 3.6.2 Departamento de Métodos de Manufactura.

En relación a las actividades que se realizan en el departamento de métodos de manufactura, se muestran a continuación algunas definiciones de los conceptos más importantes manejados en los estudios de fabricación:

- *Análisis de fabricación:* Es la elección de la secuencia en que intervienen diferentes equipos y herramientas en un proceso, para obtener el producto especificado en un dibujo de proyecto.
- *Fase:* Es el conjunto de operaciones elementales que se efectúan en un mismo puesto de trabajo para (o sobre) una misma unidad de producción.
- *Sub-fase:* Es el trabajo realizado sin desmontar a la pieza, ya sea que este sujete en un montaje de maquinado, sujeta sobre un plato de maquina o montada en un tornillo de banco, se identifica por letras.
- *Operación:* Es todo conjunto de trabajo que poniendo en obra un solo de los medios de que esta dota el puesto de trabajo, tiene por objeto acercar el producto a su estado final.
- *Superficie de partida:* Son superficies en bruto que sirven de apoyo a la pieza sobre la máquina, con el objeto de obtener superficies de referencia.
- *Cota de partida:* Es la que une la superficie en bruto con la primera superficie de referencia a obtener.

Un estudio de fabricación tiene por objeto establecer una sucesión lógica de las diferentes etapas de realización de una pieza. Dicho estudio debe respetar la calidad impuesta por el dibujo de definición del producto y llevar los costos de fabricación al mínimo.

La información básica para realizar un análisis de fabricación y elaborar los productos entregables al departamento de fabricación, adicionales a los dibujos de proyecto de la pieza o conjunto a fabricar, se muestra en la Tabla 3.1 y corresponde principalmente a los tres rubros siguientes:

- Ritmo de producción.
- Conocimiento de las posibilidades y limitaciones del equipo.
- Mano de obra disponible.

**Tabla 3.1 Tipos de fabricación, Organización, Máquinas y Herramental.**

Tipo de fabricación	Organización	Máquinas	Herramental
Unitarias o unas cuantas piezas	Para una misma pieza una misma máquina-herramienta, se efectúan en sucesión todas las operaciones	Máquinas universales clásicas (Tornos paralelos, fresadoras, taladros, mandriladoras, rectificadoras, etc.)	Herramientas estándar. Porta-piezas estandarizadas (mandriles, tornillos de banco, divisores, etc.)
Serie pequeña de hasta 100 piezas.	Para una misma pieza y una misma máquina-herramienta se efectúan en sucesión todas las operaciones. Para conservar los ajustes: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Las herramientas se montan en portaherramientas desmontables</li> <li>▪ Se limitan los desplazamientos por medio de topes</li> </ul>	Máquinas universales clásicas con topes y dispositivos de cambio rápido de herramientas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herramientas normalizadas y especiales simples</li> <li>• Porta piezas normalizados</li> <li>• Montajes rudimentarios de máquinas</li> </ul>
Serie mediana hasta alrededor de 1000 piezas	Comparable a la serie pequeña con pre-ajuste de las herramientas	Las mismas máquinas que para serie pequeña	Herramientas normalizadas y especiales. Porta-piezas normalizados. Montajes de maquinado sencillos
Serie grande: Trabajo por lotes	Cada lote pasa por las transformaciones, fase por fase	Máquinas clásicas de producción (fresadoras verticales, fresadoras horizontales, tornos copiadores, tornos automáticos, tornos múltiples). Máquinas de control numérico con cambio automático de las herramientas.	Herramientas normalizadas y especiales. Porta-piezas normalizados. Montajes de maquinado con automatización simple eventual.
Trabajo continuo 100 piezas por día mínimo	Los puestos de trabajo se implantan en el orden impuesto por las fases de la gama: Se busca: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reducir el manejo</li> <li>▪ Obtener fases de menor duración</li> </ul>	Las máquinas se diseñan en función de las piezas por fabricar (cabezales de maquinado, traslados rectilíneos o circulares). Tornos automáticos Tornos revolver Prensas, etc.	Herramientas normalizadas y especiales.  Montajes automatizados.

Para documentar los resultados del análisis de fabricación se requiere en principio efectuar las selecciones tecnológicas y económicas, o fases, para establecer el camino que permitirá fabricar la pieza de acuerdo a sus dibujos de definición.

Ejecución material:

- Se definen las restricciones geométricas, dimensionales, tecnológicas y económicas para el maquinado de la pieza.
- Se definen las etapas o fases del proceso de fabricación a utilizar, y su orden cronológico, designándolas por decenas (10, 20, 30,...), siguiendo metodologías como el de la ruta crítica.
- Se determina el tipo de máquina a emplear.
- Se precisan las herramientas y dispositivos de verificación a emplear.
- Se dibujan las piezas en posición de maquinado.
- Se indican las superficies maquinadas en línea de doble ancho.
- Se indica el posicionamiento geométrico.
- Se indican las dimensiones de la pieza terminada.

Se debe tomar en consideración la interacción entre la pieza a fabricar y el sistema de sujeción que se emplea, suponemos que este puede ser de dos tipos principalmente, en función de la cantidad de material y el tipo de maquinado que se realizara en la piezas rígidas y semirrígidas, ver Gamas-Tipo (A.Chevalier, 2010).

La Tabla 3.2 muestra un buje y sus especificaciones generales, muestra los resultados del análisis de fabricación correspondiente a dicho buje.

Una vez hechas los análisis de fabricación de las operaciones realizadas en cada fase, las operaciones involucradas se especifican detalladamente en formatos como el que se muestra en la Figura 3.11

Tabla 3.2 Análisis de Fabricación

Fase	Esquema explicativo	Máquina, Herramienta de corte, elementos de sujeción y control	Observaciones
DIBUJO DE DISEÑO			
10		<p>Torno paralelo</p> <p>Buril para refrentar.</p> <p>Buril de acabado.</p> <p>Dispositivo de sujeción; chuck de torno</p> <p>Vernier</p> <p>Indicador de profundidades</p> <p>Patrón de rugosidades</p> <p>Barra hueca de <math>\Phi 1 \frac{1}{2}</math>"</p> <p>Acero AISI 1018</p>	<p>Apoyo en los planos 1 y 2.</p> <p>Apriete en el plano 1</p> <p>Orientación C</p> <p>Cilindrar A en 20d9</p> <p>Refrentar a en 17+0.05</p> <p>Cilindrar B en 15 H7</p> <p>Acabado fino en la superficie A</p>
20		<p>Torno paralelo</p> <p>Buril para refrentar.</p> <p>Buril de acabado.</p> <p>Dispositivo de sujeción; chuck de torno</p> <p>Vernier</p> <p>Indicador de profundidades</p> <p>Patrón de rugosidades</p>	<p>Apoyo en los planos 4 y 5.</p> <p>Apriete en el plano 4</p> <p>Orientación D</p> <p>Cilindrar D en 32 f8</p> <p>Refrentar E en 3 +0.05</p> <p>Acabado fino en la superficie D</p>

Tabla 3.3 Análisis de Fase

Fase:		Nombre de la Pieza:				Numero de la Pieza:				Número de ensamble:										
Material:	Dureza	Semiproducto		Peso en KG		Magnitud del lote	Tiempo para la pieza en min		Tiempo para la Máquina		Tiempo en min	Costos en pesos	Pedido No.							
		Tipo	Dimensiones	Sin Maquinar.	Maquinado		Maquinado	Cerrajería	Total	Preparación				otros	Total					
Contenido de la observación	Contenido de la transición	Transición número	Diámetro y/o ancho (mm)	Longitud (mm)	No. de pasadas	Profundidad de corte (mm)	Avance mm/rpm	RPM	Velocidad de corte	Operación	Maquinaria	Accesorios e instrumentos auxiliares	Herramientas	De Corte	De Medición	De preparación y aceptación	Para la pieza	Para el artículo	Para una pieza	Para un artículo

### 3.6.3 Los procesos de manufactura y sus calidades obtenibles.

Los procesos de manufactura se pueden agrupar de diversas maneras; de acuerdo con el principio fundamental que interviene en el proceso se pueden clasificar en cuatro grupos:

- Procesos por fundición: Los materiales se llevan al estado líquido y se les introduce en un molde, el material al solidificar, tiene la forma de éste.
- Procesos por deformación: en estos se trabajan los materiales en la zona de deformación plástica con el objeto de obtener deformaciones permanentes.
- Proceso de corte: en esto se realiza una separación del material llevando a este hasta su resistencia última, pudiendo realizarse con corte de viruta o sin él. En esta clasificación aunque en rigor no se realiza un corte, se pueden ubicar los métodos químicos y electrónicos para procesar materiales.
- Procesos especiales: en estos pueden quedar aquellos como la soldadura, la unión de materiales por medio de adhesivos, la pintura y los tratamientos térmicos.

Otra manera de clasificar los procesos de manufactura toma en cuenta la finalidad que se persigue desde el punto de vista físico, al aplicar a los materiales dichos procesos. De acuerdo a ello pueden clasificarse como:

- Procesos para cambiar la forma de los materiales (p.ej. fundición, forjado, extruido, trefilado, etc.).
- Procesos para cambiar las dimensiones de los materiales (p.ej. torneado, fresado, etc.).
- Procesos para obtener acabados superficiales (p.ej. pulido, rectificado, rasquetado, recubrimientos electrolíticos, etc.).
- Procesos para unir materiales (p.ej. soldadura, atornillado, etc.)
- Procesos para cambiar las propiedades físicas de los materiales (p.ej. tratamientos térmicos, etc.)

En la Figura 3.11, se muestra el esquema general de las tolerancias en la fabricación de elementos metal-mecánicos.

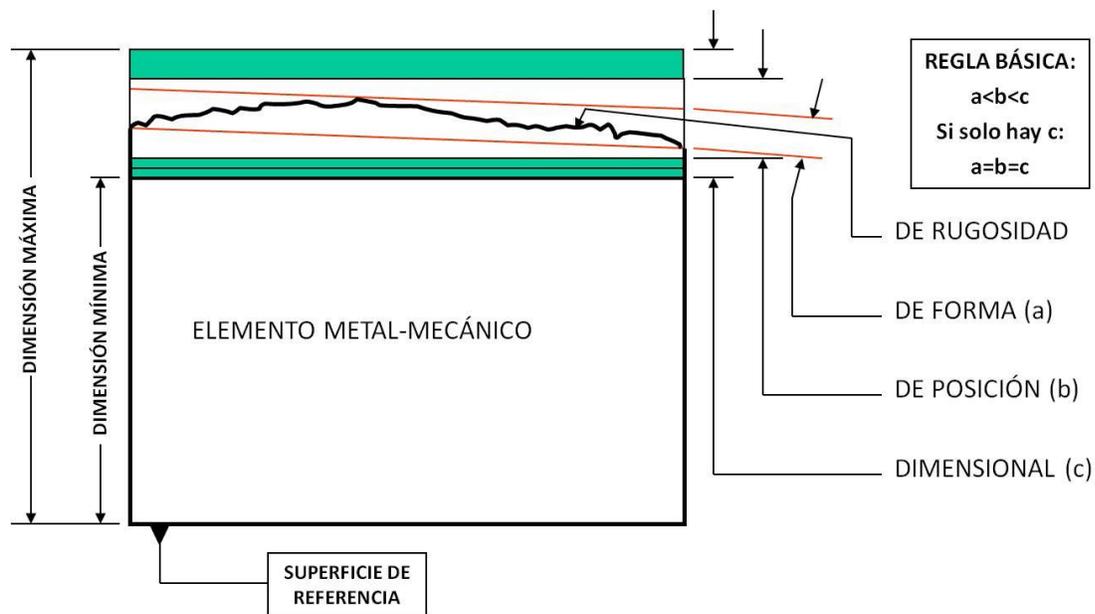


Figura 3.11. Esquema general de tolerancias

La Tabla 3.4. Grados de exactitud esperados en diversas máquinas-herramienta muestra algunos grados de exactitud esperados en diversas M-H. La Tabla 3.5 muestra los valores para aplicaciones más comunes de tolerancias geométricas, de posición y de estado superficial.

Tabla 3.4. Grados de exactitud esperados en diversas máquinas-herramienta(Villanueva-Pruneda Sergio, 1983)

Intervalos de tolerancia para diversos maquinados.					
Brochado	Preciso	IT5 a IT7	Escariado	Preciso	IT5 a IT7
	Medio	IT8 a IT9		Medio	IT8
Cepillado	Preciso	IT8 a IT9	Rectificado	Preciso	IT5 a IT7
	Medio	IT10		Medio	IT8
Electro-erosión	Preciso	0.05 mm	Taladrado	Medio	IT10 a IT11
	Medio	0.10 mm		Burdo	IT12
Fresado	Preciso	IT6 a IT7	Torneado	Preciso	IT6 a IT7
	Medio	IT8 a IT9		Medio	IT8 a IT9
	Burdo	IT10		Burdo	IT10



Es de particular importancia en el desarrollo del presente trabajo en la etapa de acabado el proceso de rasqueteado, el cual se describe brevemente a continuación: es un método de fabricación destinado al súper-acabado manual para mejora del acabado superficial y la precisión de medida.

El rasqueteado (H. Appold, 2005) conforma la terminación de muchos métodos de fabricación. En los trabajos de limado, cepillado y fresado, siempre quedarán rayas en la superficie trabajada como se muestra en la Figura 3.12. Ángulo en la rasqueta plana. Si se hacen deslizar entre sí superficies de piezas con rayas, estas presentan una alta resistencia al desplazamiento y producen el desgaste prematuro de las piezas. Mediante el rasqueteado se eliminan los rebordes de las rayas.

Las porciones de superficie portante aumentan de esta forma en un 80%. Las superficies rasqueteadas proporcionan un cierre hermético perfecto.

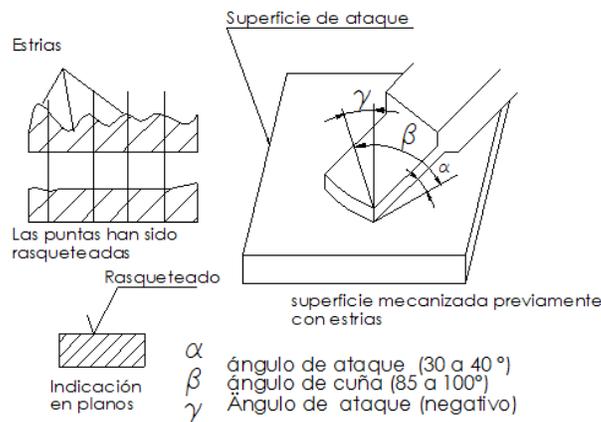


Figura 3.12. Ángulo en la rasqueta plana (H. Appold, 2005).

Las rasquetas normalizadas en DIN 8350 son como se muestra en la Figura 3.13. Formas de las rasquetas., la plana (forma A), para el rasqueteado de superficies en piezas planas, la triangular (forma B) y la triangular acanalada (forma C) para piezas abovedadas. Para estas superficies también se aplican otros tipos de rasqueta, como son la de cuchara y para el rasqueteado final la rasqueta bruñidora.

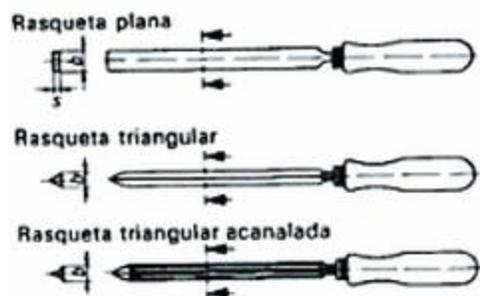


Figura 3.13. Formas de las rasquetas(H. Appold, 2005).

Una vez terminado el análisis de operaciones para la fabricación de las pieza y determinada la secuencia de las mismas, la única operación restante en el departamento de métodos de manufactura es el desarrollo de los sistemas de sujeción para la producción en serie en función del volumen de los lotes a fabricar para lo cual ha de seguir las recomendaciones siguientes.

### **3.7 Sobre los sistemas de sujeción.**

A partir de los datos obtenidos del análisis de fabricación, se procede a seleccionar los dispositivos de sujeción para los maquinados. Para fabricaciones unitarias o de baja escala se utilizan dispositivos universales; para fabricaciones en serie generalmente es necesario diseñar dispositivos especiales de fabricación, entre los cuales se encuentran algunos componentes genéricos conocidos como “Jigs & Fixtures” (Plantillas y accesorios) que son elementos para sujeción en producción usados para la manufactura de duplicados de piezas de manera exacta.(G.Hoffman, 2004).

En ambos tipos de sistemas de sujeción la correcta relación y alineamiento entre la pieza y el cortador u otra herramienta debe ser mantenida. Para hacer esto, una plantilla o accesorio es diseñado y construido para sostener, restringir y localizar cada parte para asegurar su correcta barrenación o maquinado dentro de las especificaciones de diseño. De los diferentes tipos de accesorio usaremos uno tipo caja, con el fin de realizar más de una operación con el mismo dispositivo. Una vez establecidos los parámetros antes mencionados se selecciona una preforma de la pieza o “blank”. Una vez obtenida la preforma se procede a su montaje dentro del dispositivo de sujeción previamente diseñado, el cual se encuentra montado en la máquina herramienta.

#### **3.7.1 Reglas básicas para la localización.**

Para asegurar la precisión en cualquier operación de maquinado, el trabajo debe ser debidamente posicionado con respecto al cortador u otra herramienta. Para asegurar la precisión deseada, el diseñador del sistema de sujeción debe asegurar que la pieza se encuentre localizada con precisión y sujeta de manera segura. Los localizadores, además de proveer un posicionamiento correcto de la pieza, aseguran una carga y descarga sencilla de la pieza.

Los localizadores de la parte no deben ser colocados después de terminado el sistema de sujeción sino planeados en el diseño del herramental. Se deben tener en cuenta los siguientes puntos cuando se realiza el diseño del sistema de sujeción como el que se muestra en la Figura 3.14.

- Posición de los localizadores
- Tolerancias de la pieza a fabricar
- Que sea simple de emplear
- Duplicar la localización.

### 3.7.2 Posición de los localizadores.

Cuando sea posible, los localizadores deben estar en contacto con una superficie maquinada. Esto permite una localización precisa de la pieza en la herramienta y asegura la repetitividad del sistema de sujeción. Esto es necesario para mantener la precisión requerida, al especificar tolerancias menores al 20% solo incrementa el costo de producción de los dispositivos y no la precisión de la pieza terminada.(Hoffman, 2004). Se debe tener en consideración que la tolerancia del sistema de sujeción debe estar entre el 20 y el 50% de la tolerancia de la parte a fabricar.

## 3.8 Sobre los sistemas de sujeción para fresado y cepillado.

### 3.8.1 Fuerza de sujeción.

Los sistemas de sujeción para fresado deben de ser pesados y robustos para soportar las fuerzas y altas vibraciones desarrolladas en el proceso de fresado, el hierro fundido es un material adecuado para este tipo de sistemas.

### 3.8.2 Empuje de trabajo.

Las fuerzas de empuje generadas en el proceso de fresado deben ser transmitidas a estructuras sólidas y fuertes, el empuje no debe ser dirigido hacia un “clamp” o alguna parte móvil. Si se emplea una prensa es mejor dirigir el empuje hacia la quijada fija y no a la móvil.

### 3.8.3 Ajuste de corte.

Piezas adecuadas para el ajuste de corte han de ser previstas para facilitar el ajuste de corte de manera precisa, se acostumbra el dejar un espacio de .40 a .5 mm entre la pieza y el cortador. Esto facilita el ajuste del cortador con un indicador de caratula

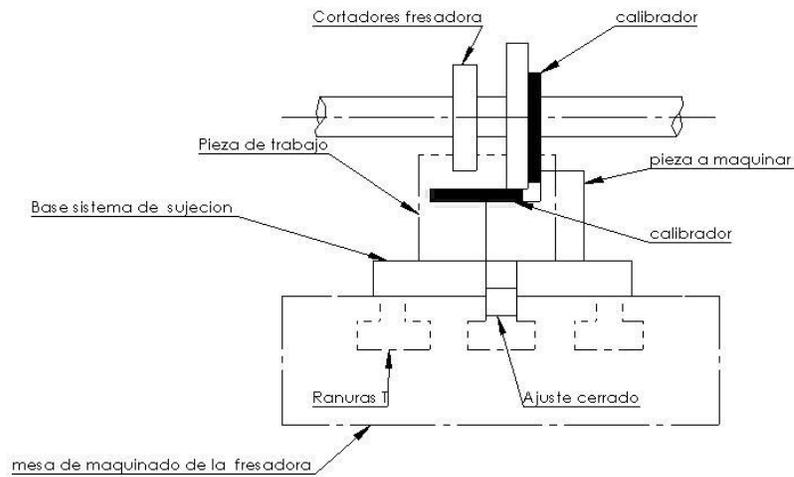


Figura 3.14. Consideraciones para sistema de sujeción fresado

### 3.9 Sujeción a la mesa de trabajo.

Los sistemas de sujeción para fresado, se fijan de manera general con espigas localizadoras. Estas se encuentran fijadas en las ranuras maquinadas en la cara de la base del dispositivo. Las espigas se maquinan con tolerancias cerradas de deslizamiento sobre las ranuras T de la máquina. Las espigas alinean el dispositivo con el recorrido longitudinal de la máquina como se puede apreciar en la Figura 3.15.

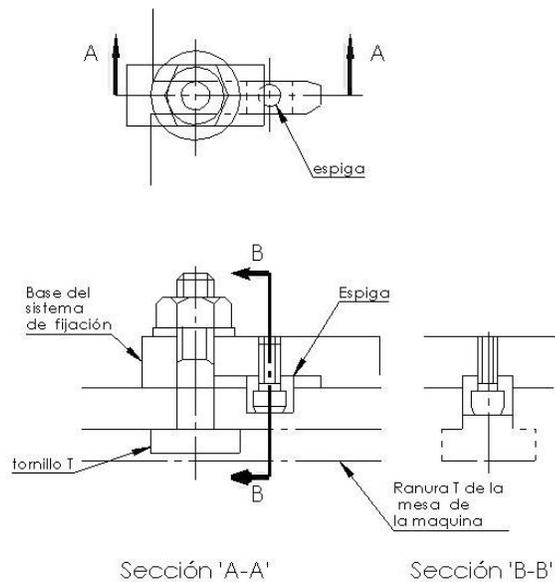


Figura 3.15 .Sistema de fijación a la mesa de coordenadas

### 3.9.1 Sujeción rígida.

Los dispositivos deben ser fijados de manera firme a la mesa de trabajo de la maquina con el fin de prevenir el deslizamiento cuando se someta a las fuerzas de corte y vibración de la máquina. Esto se logra por medio de ranuras U en los sistemas de fijación, esto facilita la sujeción directa en las ranuras T, en lugar de clamps externos, un mínimo de 2 ranuras de fijación se debe de proveer. En caso de corte y empuje de alto desempeño el número de ranuras de sujeción se debe incrementar a 4 o 6.

### 3.9.2 Sistemas de sujeción para careado.

Las fresadoras se usan de manera extensiva para el careado y acoplado de superficies planas

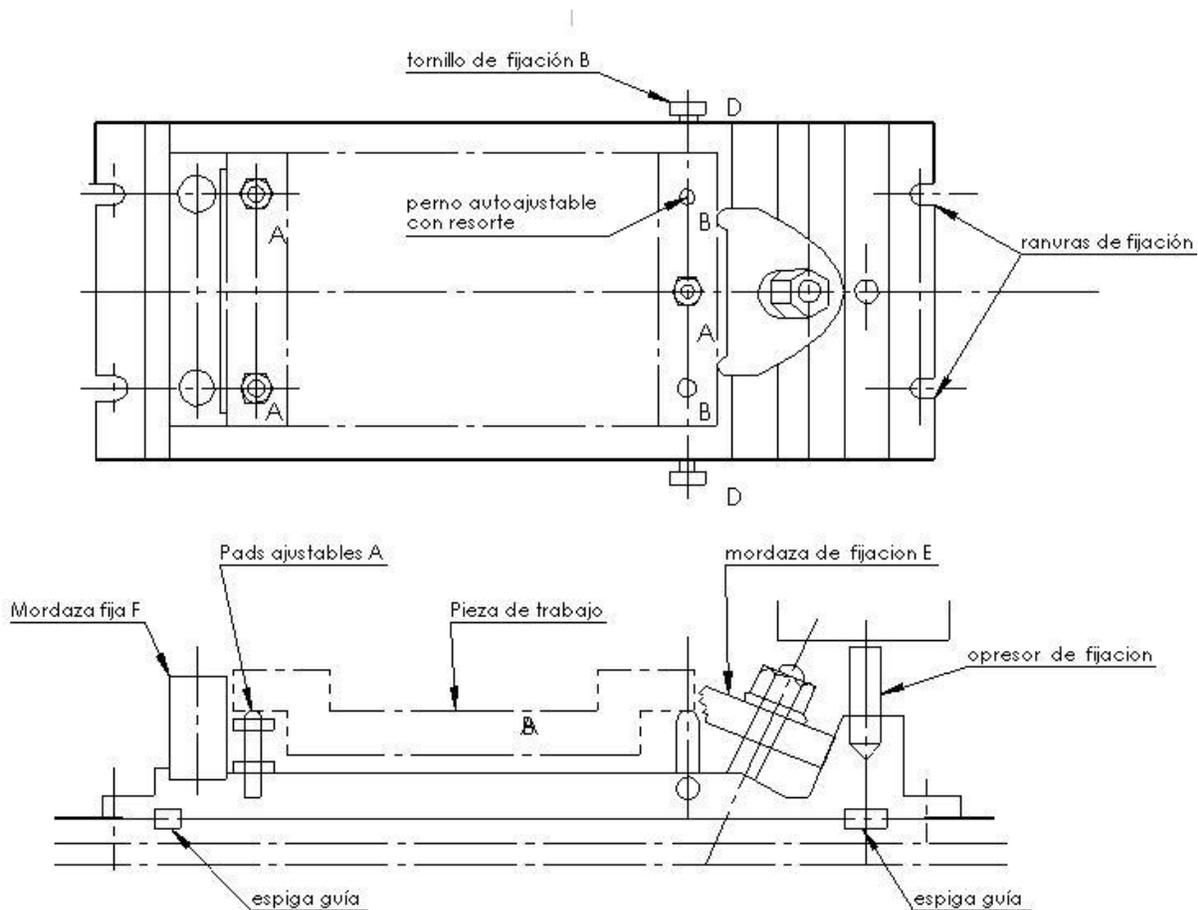


Figura 3.16. Sistema de sujeción para el careado de superficies

### 3.9.3 Apoyos planos.

Un apoyo plano es equivalente a tres normales de referencia. En función de las presiones de contacto se escogen un ejemplo de ello se muestra en la Figura 3.17:

- Tres contactos puntuales tan distantes como sea posible.
- Una superficie plana que no tenga más de tres puntos de soporte.
- Una superficie plana liberada de su parte central
- Una superficie plana continúa; se precisa que solo se admita una superficie convexa.

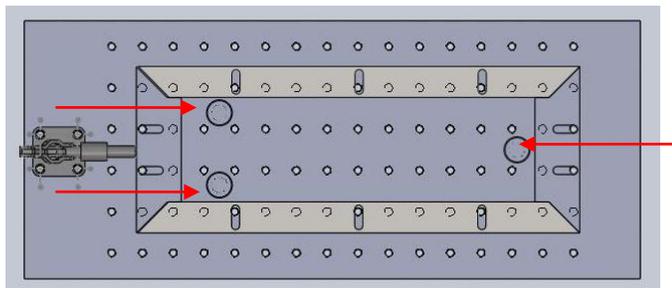


Figura 3.17. Puntos de apoyo para formar un plano de montaje

### 3.9.4 Pre-posicionamiento.

Con el objeto de facilitar el posicionamiento de una pieza, es necesaria una colocación de esta en su sitio.

El posicionamiento debe asegurar; que la pieza se pueda colocar, sin error, en la montadura, una guía libre de problemas, de la pieza hacia sus apoyos.

### 3.9.5 Embonamientos.

El objeto de este es evitar la expulsión en arco de una pieza cuando se coloca en un alojamiento relativamente preciso.

## 3.10 Verificación dimensional y geométrica en las M-H.

Las pruebas a que se someten las máquinas herramientas pretenden controlar los eventuales defectos que pueden presentarse en:

- La precisión de las diferentes partes de la máquina forma, dimensiones, funcionamiento.
- La precisión de las piezas mecanizadas.
- La producción de la máquina o sea, el número de unidades producidas en un período de tiempo determinado.
- El rendimiento mecánico alcanzado; es decir, la relación entre la energía máxima absorbida y la energía máxima disponible.
- Los servicios que proporciona.
- La solidez de la máquina y su resistencia a las vibraciones bajo carga.

### **3.11 Tipos de Verificación.**

#### a) Verificación estática o geométrica.

Consiste en controles geométricos efectuados en las máquinas herramientas. Esto significa que pretendemos verificar los diferentes órganos de las máquinas estando éstos estáticos y comprobando si los espaciamientos de sus partes móviles tienen la precisión debida.

#### b) Verificación dinámica o funcional.

Este consiste en mecanizar un cierto número de probetas (piezas tipo). Al mecanizar estas piezas, podemos comprobar el estado en el que se encuentra la máquina y su comportamiento en el trabajo. Si bien la verificación dinámica es más precisa que la estática, puesto que permite conocer a fondo las diferentes características de las máquinas herramientas, se encuentra limitada por la falta de precisión de los instrumentos de verificación utilizados.

#### 3.11.1 Verificaciones estáticas o geométricas:

Cada verificación de una propiedad determinada referente a la forma, la posición o el desplazamiento de las líneas de las superficies de la máquina.

- Rectitud
- Planitud
- Paralelismo, equidistancia y coincidencia
- Perpendicularidad
- Rotación

Es objeto de un procedimiento de medida y del modo de fijación de la tolerancia. Se ha indicado para cada ensayo por lo menos un procedimiento de medida haciendo referencia simplemente los principios y aparatos utilizados.

### 3.11.2 Comprobación de la rectitud.

La comprobación de rectitud puede referirse a una línea con respecto a dos planos ortogonales, a la rectitud de un órgano y a la rectitud de un desplazamiento.

### 3.11.3 Rectitud de una línea.

Se recomienda el empleo de regla o nivel para longitudes hasta 1600 mm y los métodos de nivelación o procedimientos ópticos para longitudes mayores

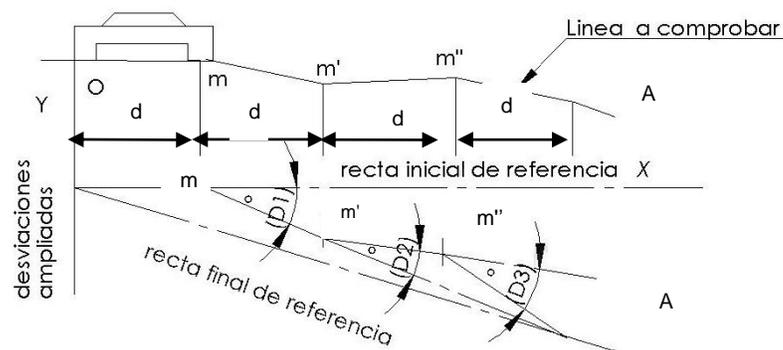


Figura 3.18. Comprobación de la rectitud de una línea por nivelación.

## 3.12 Cartas de aceptación para máquinas herramienta.

Estas cumplen con tres propósitos principales los cuales son:

1. La inspección final y aceptación de una máquina herramienta.
2. El control y verificación de las máquinas en uso para procesos de manufactura.
3. La instalación e inspección de máquinas reacondicionadas durante y al final de la reparación de estas.

La forma, posición y dirección de movimiento correcto de las parte de una máquina-herramienta que afecta la precisión del trabajo realizado en las piezas producidas por dicha máquina. En el caso de un torno por ejemplo. La forma del husillo, la relación del contrapunto en relación con el cabezal son muy importantes. La coaxialidad de los ejes y el desplazamiento del carro porta-herramienta deben ser paralelos al husillo.

### 3.12.1 Secuencia de una prueba de aceptación:

- Precisión de la máquina
  - Nivelación.
  - Instalación y puesta a punto.
  - Prueba de las guías y desplazamiento.
  - Prueba del husillo principal y su relación con otras unidades importantes y componentes
- Precisión de la pieza terminada.
- Consumo de energía.

### 3.12.2 Como llevar a cabo estas pruebas y como usar las herramientas e instrumentos requeridos para este examen:

Los requerimientos de (1) son satisfechos con la aprobación de las “cartas de verificación“. Cada una de las cartas contiene los errores permisibles de forma, posición y dirección del movimiento de las partes que afectan la precisión de trabajo de la máquina. En adición, las tolerancias de la pieza de trabajo están dadas al final de la carta. Dichas tolerancia en acuerdo con la norma ISO 1708:1989

Los requerimientos para satisfacer (2) son provistos por esta guía, del equipo de medición empleado y los por menores de cómo realizar las pruebas.

El procedimiento general para llevar a cabo las pruebas en las cartas es el siguiente:

1. La máquina se encuentra instalada y los ejes principales horizontal y vertical son verificados por medio de un nivel de precisión.
2. La rectitud, paralelismo, y la calidad de la superficie de las guías así como de los asentamientos de los baleros, los montantes y las bases son probados.
3. El husillo principal, como el elemento principal de la máquina, es probado en concentricidad (en trabajo), deslizamiento axial, precisión del eje y posición relativa a los demás ejes y superficies.
4. El movimiento de todos los elementos de trabajo es checado posteriormente.
5. Las pruebas de trabajo son llevadas a cabo para determinar si la máquina como conjunto, produce piezas terminadas dentro del rango de precisión especificado. Este esquema general es aplicable a todas las máquinas herramienta razón por la cual se puede simplemente explicar los procesos particulares a una maquina en específico.

### **3.13 Métodos de medición para tornos.**

Con respecto a su grado de precisión, los tornos se encuentran agrupados de acuerdo a su uso y tamaño. La experiencia ha mostrado, que las bancadas de los tornos se desgastan con una mayor velocidad en la parte central que en los extremos. Por lo tanto las tolerancias deben ser dirigidas en el sentido contrario a esta tendencia de deformación.

Para evitar la combinación de grandes tolerancias convexas para el frente de las guías y grandes tolerancias cóncavas para la parte final de las guías, las bancadas son probadas en dirección transversal por niveles de precisión.

El alojamiento del eje debe ser alineado de forma tal que el eje insertado en el husillo de trabajo se eleve únicamente en su extremo libre con respecto a las guías de la bancada, mientras se inclina hacia el carro porta herramienta, únicamente para contrarrestar las deformaciones debidas al peso de trabajo y la presión ejercida por la herramienta, de manera similar el contrapunto se puede deformar únicamente en las direcciones antes mencionadas.

Los errores permitidos en el paso de tornillo de avance son referidos a la medición usual de 300 mm. Las tolerancias son tan cerradas que un tornillo de avance que no cumpla con las mismas puede presentar ya sea una suma de errores individuales inaceptable o un error total inadmisibles. Si en casos especiales es necesario conocer ambos errores, las tolerancias no han de ser reducidas en la medida que se reducen las distancias.

Los errores de avance correspondientes a  $\pm 0.03$  por cada 300mm referidas a otras mediciones de longitud son las siguientes:

- Un error individual, medido cada 125 mm: 0.02 mm
- Un error total; medido cada 1000 mm: 0.08 mm

### **3.14 Etapas previas a la verificación de una máquina herramienta:**

Antes de proceder con los ensayos de una máquina-herramienta, es indispensable apoyar la máquina sobre cimientos apropiados y nivelarla conforme a las indicaciones del constructor.

La máquina debe de ser cuidadosamente nivelada; cada una de las pruebas está basada en la correcta instalación de la máquina, ninguna base puede ser tan rígida que esté libre de deformaciones si no está debidamente instalada.

Cuando se nivela la máquina, el nivel debe ser colocado sobre la superficie maquinada de las guías únicamente. Los niveles de burbuja empleados en la verificación de máquinas herramienta presenta una escala de 0.03 a 0.05 mm por metro. El avance de la burbuja en una división representa una desviación de 6 a 12

grados con respecto a la horizontal en el sentido de inclinación del nivel. Es aconsejable emplear un nivel con una variación de 0.04 mm por metro. La distancia entre divisiones no deberá de ser menor a 2.5 mm

Los errores y desviaciones del nivel debe estar por debajo de  $\frac{1}{4}$  de división, no obstante en los niveles de taller dicho error alcanza  $\frac{1}{2}$  división. Los errores que pueden llegar a surgir por el uso inadecuado del nivel son: a) una condición de la pieza a ser medida, b) influencia de la temperatura, c) errores humanos

- a) Si la superficie a ser verificada es geoméricamente imprecisa, la base del nivel puede no descansar de forma paralela a la misma. La burbuja indica la posición de base del nivel. Si esta base no es paralela a la superficie que se verifica, la indicación de la burbuja es errónea. La indicación de la burbuja se refiere únicamente a la línea recta en la dirección de la medición. Por lo tanto el nivel debe ser colocado en diferentes orientaciones para realizar la medición, al verificar los planos. Se recomienda verificar la naturaleza de la superficie por otros medios como son filos rectos, mármoles, autocolimadores, escantillones, etc.
- b) La prueba debe llevarse a cabo a una temperatura de 20°C. las desviaciones causadas por los rayos de sol, corrientes de aire, y el contacto con las manos calientes, etc. Provoca una lectura errónea. El respirar y tocar la burbuja debe ser evitado.
- c) Lo más recomendable es tomar la medida viendo la burbuja del nivel con ambos ojos abiertos y viendo en dirección de perpendicular a la burbuja del mismo.

Nivelado de la bancada de un torno:

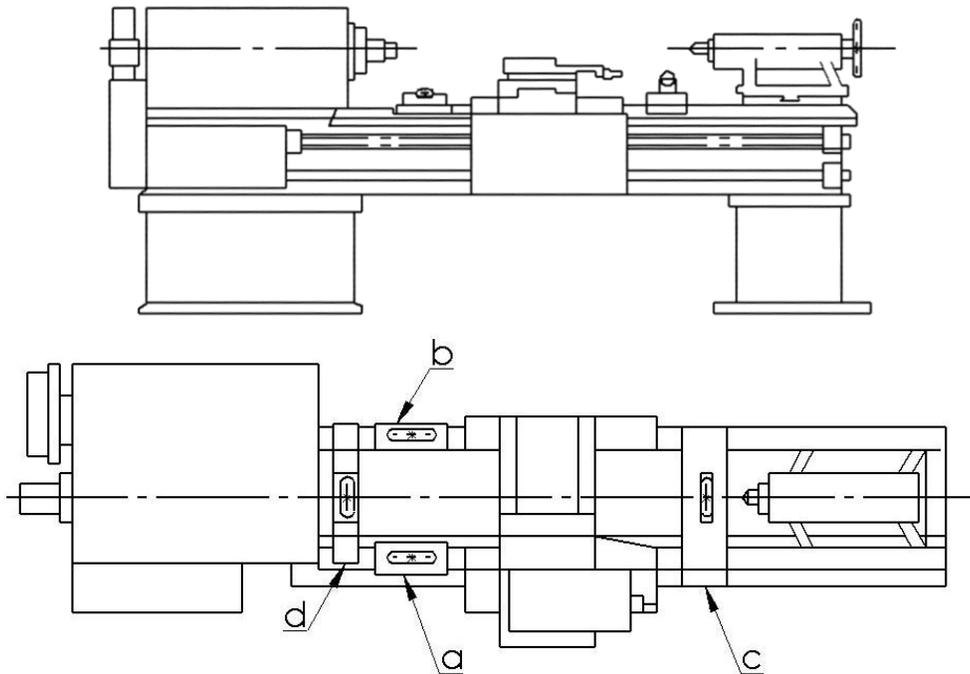
- a) transversal
- b) longitudinal

Durante la medición del carro porta-herramienta una placa de distribución debe estar a la mitad de la bancada para máquinas cortas, o entre dos soportes para bancadas grandes

Para medir la bancada del torno longitudinalmente el nivel debe ser colocado en los puntos *a* y *b* en la parte inicial de las guías, orientadas en sentido contrario a la parte frontal de la máquina. Esto es deseable por que la parte frontal las guías son intencionalmente convexas, mientras que la parte posterior (inicial) de las guías es generalmente plana. La bancada ha de ser verificada de manera transversal, colocando el nivel en las posiciones *c* y *d*. es preferible usar dos niveles simultáneamente uno en sentido longitudinal y el otro en sentido transversal, así cuando la nivelación de la máquina en un sentido puede modificar la orientación en el opuesto, con lo que se apreciaría dicha desviación al instante. No se permite que

exista ninguna torcedura en la máquina ya que su presencia evitaría que las superficies del carro de herramientas asienten. Por lo tanto las desviaciones deben ser todas en el sentido positivo o negativo.

Si las guías posteriores son prismáticas, bloque intermedio debe ser empleado, de otra forma la parte trasera plana (o delantera) de las guías puede ser tomada como punto de referencia para hacer otras verificaciones. Debido a que la distancia transversal de las guías en los puntos c y d es considerablemente más grande que la base del nivel, un puente auxiliar debe ser empleado. Ahora las cuatro esquinas de la bancada deben estar en el plano horizontal.



**Figura 3.19.** El nivel ocupa sucesivamente las posiciones longitudinales a, b, c y d. Puede usarse para esta verificación un travesaño con apoyos isostáticos o el carro mismo (referencia)

Después de haber efectuado esta puesta en su lugar preliminar, se puede proceder al control de la rectitud de las guías (o de la rectitud del desplazamiento del carro).

Verificación de la calidad de las de los de los baleros: No obstante no se ha llegado a un estándar para el acabado en de las M-H, no obstante mediciones para la planitud, paralelismo y rectitud de dichas guías han sido establecidas con éxito.

Un método útil para la verificación de superficies maquinadas es el uso de un palpador con indicador de caratula de 0.0025 mm, el soporte del indicador debe estar montado en una base plana. Con esto en mente la punta de indicador del palpador debe estar endurecida y debe tener un radio aproximado de 1.5 mm Ningún punto en la superficie debe ser mayor a 0.025 y no menor a 0.05 por debajo

de los puntos reales. El palpador del indicador de caratula debe de pasar por diferentes líneas paralelas de la superficie a ser verificada

El desplazamiento verdadero de los husillos puede ser verificado por medio de un indicador de caratula; el error total es revelado al aplicar el indicador como se muestra en Figura 3.20. Desplazamiento verdadero de los husillos que incluye tres fuentes diferentes de error.

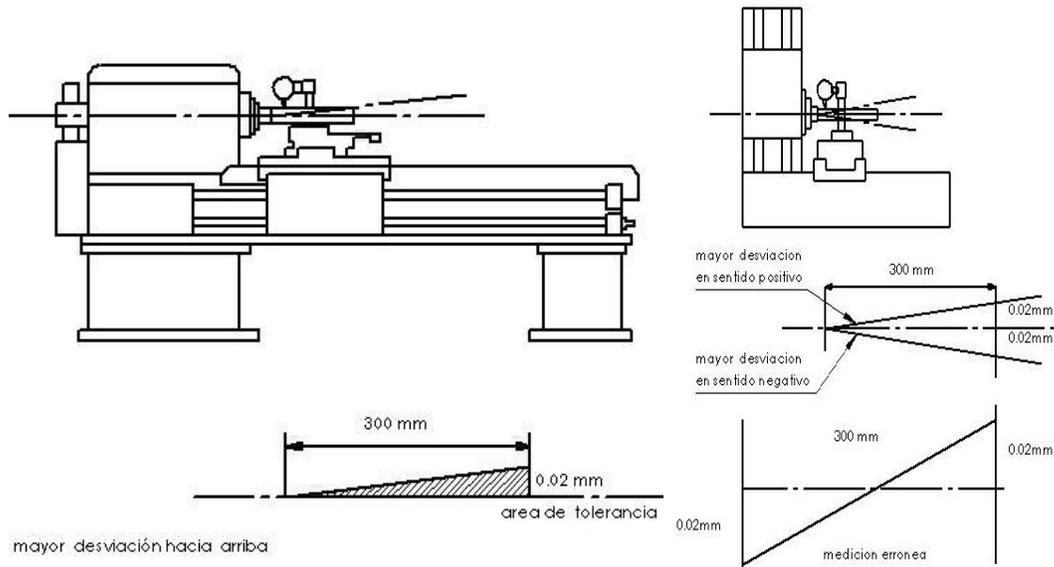


Figura 3.20. Desplazamiento verdadero de los husillos

### 3.15 Fuentes de error en mandriles rotatorios.

La inclinación del eje del mandril con respecto al eje de rotación con un ángulo  $\alpha$ , la excentricidad del eje del mandril con respecto al eje de rotación, distancia  $e$ .

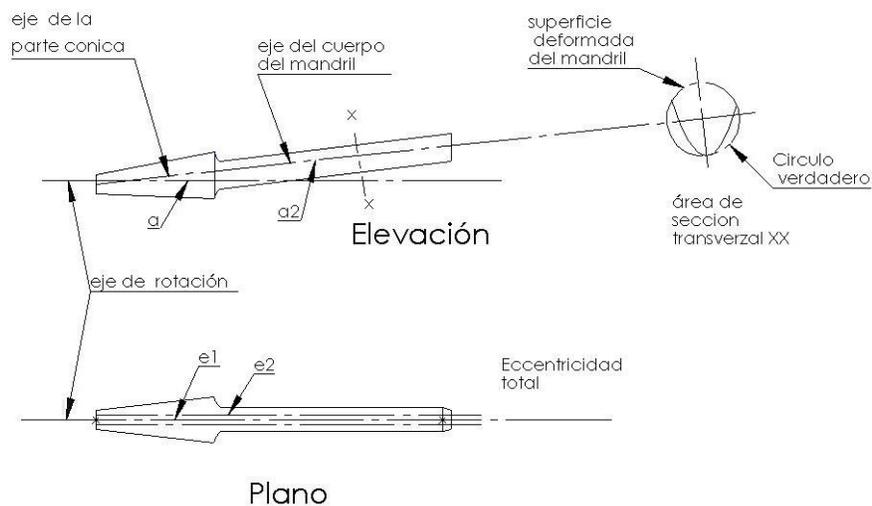


Figura 3.21. Fuentes de error en mandriles rotatorios

La falta de redondez de la superficie es verificada, como se muestra en la sección transversal ampliada en La Figura 3.21. Fuentes de error en mandriles rotatorios. Un indicador de caratula calibrado en 0.025 mm, 0.01 mm ó 0.0025 mm por normativa será empleado para dicha prueba. Dicha verificación debe realizarse en dos puntos diferentes uno cerca de la nariz del husillo (a) y al final del mandril (b) como muestra la Figura 3.22: Prueba para el desplazamiento verdadero.

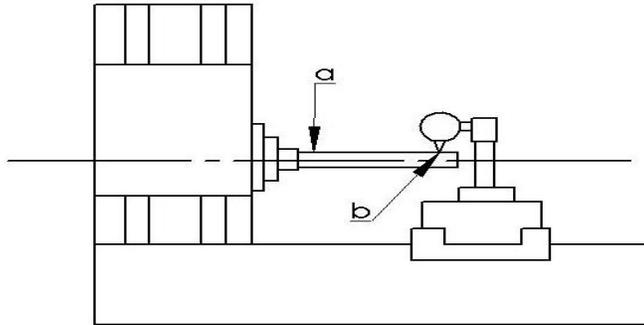


Figura 3.22: Prueba para el desplazamiento verdadero

Para realizar esta medición el mandril debe tener una longitud de 300mm, debe ser colocado en el cono del husillo. Con el palpador del indicador colocado sobre la superficie cilíndrica del mandril, la desviación es leída conforme se hace girar lentamente el husillo. Las mediciones se toman en el punto a y b. para eliminar la influencia de la deformación por gravedad, es recomendable realizar los mandriles de prueba huecos y maquinarlos con un vástago cónico, el diámetro mayor no debe ser mayor al del cilindro a ser medido Figura 3.23: Mandril de prueba hueco con vástago cónico..

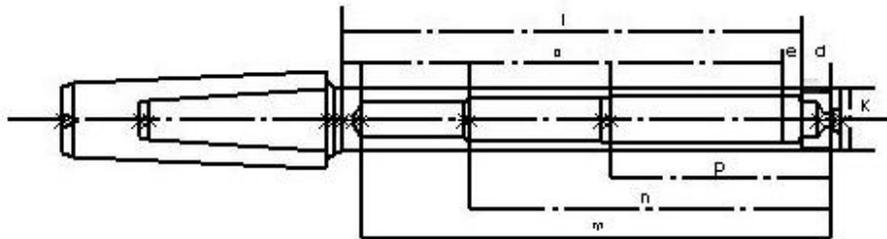


Figura 3.23: Mandril de prueba hueco con vástago cónico.

La longitud del mandril depende de su uso y varía de 500 mm hasta 100 mm en el caso de los mandriles de vástago cónico. El diámetro debe ser elegido de forma tal que la deformación por gravedad sea despreciable. La deflexión causada por la presión ejercida por el indicador de caratula se encuentra en el rango de 56 a 112 gr y no es perceptible en la medición. Antes de aplicar cualquier medición direccional, el husillo de trabajo por medio del mandril de prueba. Posteriormente los husillos deben ser colocados en la posición principal de la desviación de excentricidad.

### 3.16 Procedimiento de verificación para un torno.

La bancada debe ser recta de manera longitudinal. Con bancadas de hasta 3 m de longitud la nivelación en la guía del carro portaherramientas es suficiente. Si es necesario se puede emplear un bloque intermedio o puente Figura 3.24: Puente para nivel.

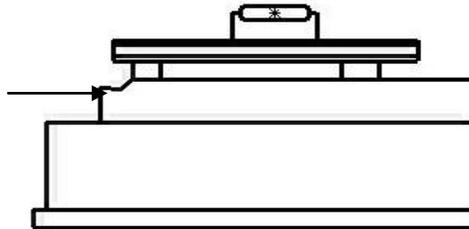


Figura 3.24: Puente para nivel.

La base del nivel siempre debe estar paralela al eje de la guía "V", la rectitud de la guía se verifica colocando el nivel cada 300 mm. A lo largo de la longitud total de la bancada. La superficie contraria se verifica de manera similar. Con máquinas de más de 3 m entre centros, se requieren de métodos alternativos de medición, como son, cable tenso, auto colimador comparación con bordes rectos, etc. La convexidad de la parte frontal de la bancada ocasiona el desplazamiento de la burbuja del nivel en el sentido contrario a cada avance. El desplazamiento de la burbuja siempre debe ser hacia el centro de la guía

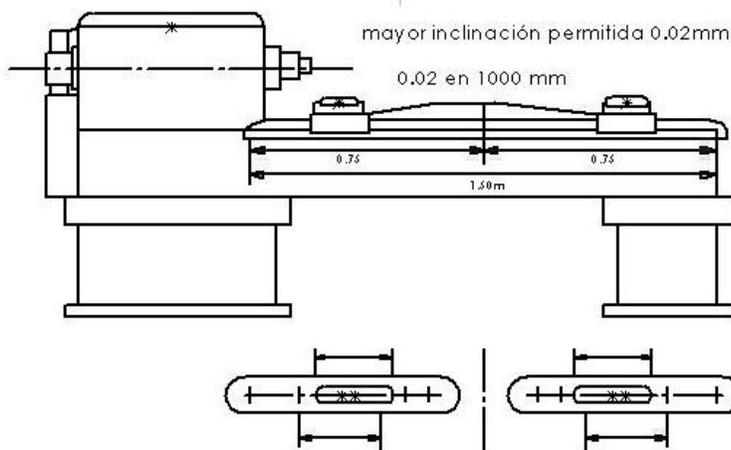


Figura 3.25: Tolerancias unilaterales en mediciones de nivel

Pero en ambos casos solo una forma convexa es permitida en dirección hacia el centro de la bancada como se muestra en la Figura 3.25: Tolerancias unilaterales en mediciones de nivel, mientras que la parte posterior usualmente es plana. Es aconsejable por lo tanto, el tomar la superficie plana como referencia para cualquier verificación posterior.

### 3.16.1 Relaciones de posición entre las superficies de las guías de deslizamiento:

Existe una relación entre las superficies que componen una guía de deslizamiento, con el objeto de asegurar el correcto desplazamiento en la vía debe quedar garantizada la posición relativa de las superficies respecto a otras como se muestra en la Tabla 3.6 Planos de referencia., esta exactitud de posición se consigue en el montaje. Para fijar dicha relación se parte de las superficies que mantienen una posición distinta en una vía, como es de uso general dos o más guías, también existe entre estas una relación de posición. Para la verificación de posición relativa y absoluta dentro de las guías se emplean indicadores como los que se muestran en Tabla 3.7. Verificación de las Guías por medio de Patrones.

Tabla 3.6 Planos de referencia.

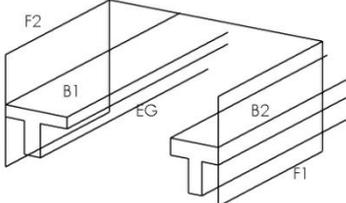
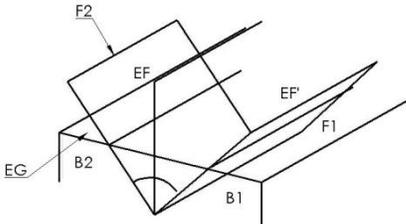
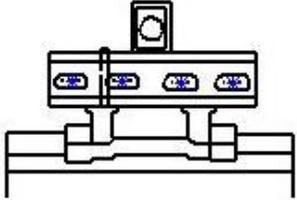
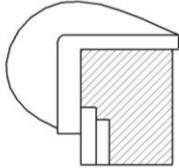
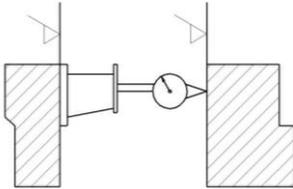
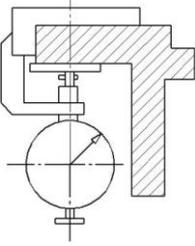
Relación de posición	Representación	Superficies relacionadas entre si
Vía Plana		Las superficies B <sub>1</sub> y B <sub>2</sub> están en el plano Eg, las superficies F <sub>1</sub> y F <sub>2</sub> , están respectivamente en EF' y EF que son perpendiculares a Eg y son paralelas entre si
Vía en V		Las superficies B <sub>1</sub> y B <sub>2</sub> están dispuestas en el plano Eg, las F <sub>1</sub> y F <sub>2</sub> están en los planos EF y EF'. El plano central M es bisectriz de $\angle \alpha$ ; EF y EF' tiene su intersección horizontal

Tabla 3.7. Verificación de las Guías por medio de Patrones.

Descripción	Esquema
Verificación de la coincidencia en un plano de las superficies de deslizamiento de las guías	
Verificación de la posición a escuadra de las superficies de vía plana	

<p>Verificación del paralelismo de las superficies de vía plana y de guía (interior)</p>	
<p>Verificación de paralelismo de las superficies de guía de vías planas</p>	

### 3.16.2 Mediciones angulares.

Para la medición angular se emplean aparatos de medición tanto mecánicos como ópticos, para mejores resultado se recomienda el uso de calibres normales angulares que se unen unos a otros de igual forma que los calibres normales de caras paralelas.

Un juego de calibres angulares contiene las siguientes medidas angulares:

1°, 3°, 5°, 15°, 30°, 45°, -1', 3', 5', 10', 25' 40', -20", 30".

Con estos calibre pueden componerse todos los ángulos des de 0 a 90° con escalonamiento de 10". Los calibres angulares llevan signos + y - como se muestra en la Figura 3.26. Verificación de la inclinación de dos superficies por medio de calibres normales.

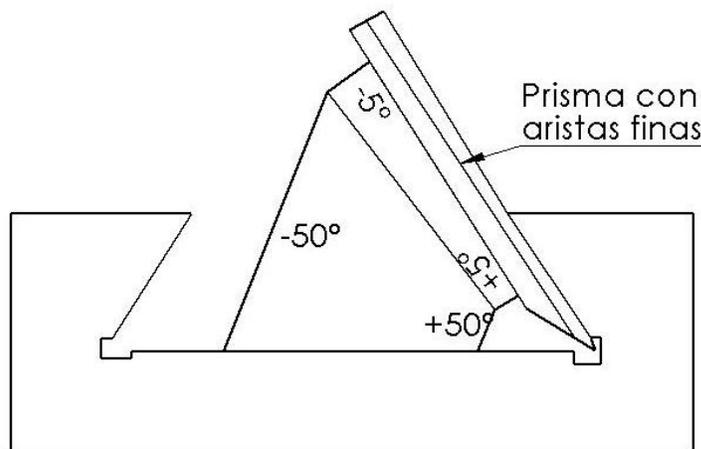


Figura 3.26. Verificación de la inclinación de dos superficies por medio de calibres normales

### 3.16.3 Mediciones en el contrapunto

La rectitud de las guías del contrapunto Figura 3.27: Verificación del Contrapunto, la calidad de la superficie así como la el paralelismo con el carro porta herramientas se puede verificar de manera simple con un indicador sujeto al carro porta-herramienta.

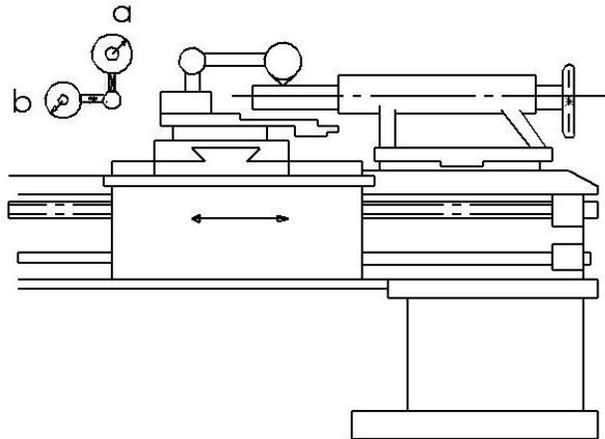


Figura 3.27: Verificación del Contrapunto

Mientras que el palpador pasa por encima de la superficie este mostrara cualquier irregularidad sobre la superficie moteada, la cual debe ser de la mejor calidad posible para soportar las condiciones de desgaste durante el maquinado entre centros.

a) verificación de la relación entre el eje de centro y otras unidades importantes.

1) Paralelismo de las guías del carro con :

- a. Las guías del contrapunto de plano a plano
- b. El husillo de trabajo
- c. El diámetro externo de la camisa de contrapunto (plano a eje)
- d. La conicidad interna de la camisa del contrapunto (plano a eje )
- e. Eje del tornillo guía (plano al eje)

2) El paralelismo del husillo principal con el carro portaherramientas

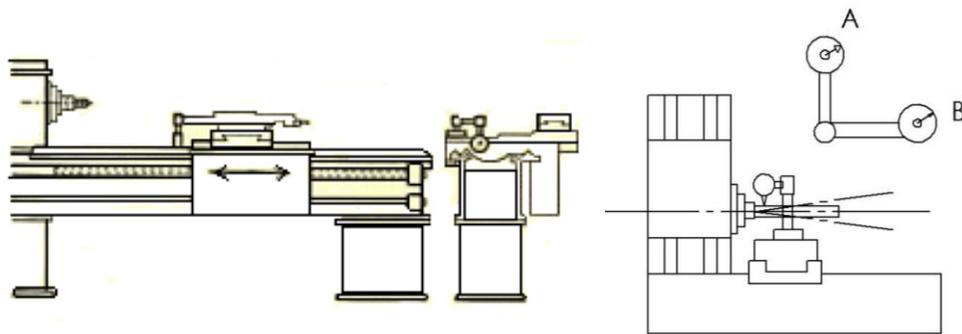


Figura 3.28. a) Verificación para aprobar las guías.

b) Husillo de trabajo (plano a eje)

Coloque el mandril en el husillo cónico y sitúe el indicador d de caratula en el carro porta herramienta. Ajuste el indicador de forma tal que toque la superficie superior del mandril, gire el husillo lentamente hasta que encuentre la posición de partida, en donde el efecto de la excentricidad sea eliminado. Mueva le carro porta herramienta paralelo al mandril hasta la distancia previamente establecida que varía de 100 mm hasta 300 mm y verifique la lectura del indicador, al inicio y al final de la rotación. Estas mediciones se deben realizar en los planos horizontal y vertical.

El husillo principal deberá estar en funcionamiento por lo menos una hora (calentamiento) a la velocidad más alta disponible antes de realizar las mediciones subsecuentes. Si este procedimiento no se realiza, el husillo no estará a su temperatura normal de trabajo (30 a 40 °C) y consecuentemente no estará en su posición de trabajo habitual.

La inclinación permisible en el eje del husillo con respecto a las guías de la bancada es:

- a) Un aumento hacia el extremo libre del mandril para permitir desgaste de los rodamientos principales.
- b) Una inclinación en el extremo libre de la máquina para permitir una deflexión en la máquina debida a las fuerzas de corte.

Es esencial que el manguito exterior del contra punto se encuentre bien sujeta en posición mientras que su paralelismo con respecto al carro porta herramienta es verificado, ya que el esfuerzo ejercido por la sujeción influencia la posición del manguito .

En adición a la verificación del paralelismo entre ejes se debe de verificar la posición relativa entre los mismos. Como ejemplo el eje del contra punto y del Husillo deben no solo ser paralelos sino coaxiales.

Para verificar la altura del husillo principal y del cono en el manguito en el contra punto un mandril hueco de 300 a 500 mm de largo, centrado de manera precisa deberá ser insertado entre ambos centros como se muestra en la Figura 3.28. a)

Verificación para aprobar las guías.

b) Husillo de trabajo (plano a eje). Un palpador de caratula fijo en el carro porta herramienta se coloca el palpador por encima del mandril y se observa la desviación que presenta este.

Para verificar la alineación de la media tuerca y de los rodamientos del husillo principal, coloque el carro porta-herramienta en el centro de la bancada y cierre la media tuerca. Sujete el indicador firmemente a un puente anclado en la parte posterior de la bancada y es guiado por la guía del carro principal únicamente. El palpador se aplica únicamente a la superficie de la cuerda del husillo principal para que la alineación hacia la derecha de la rosca del carro pueda ser leída en las posiciones I y II

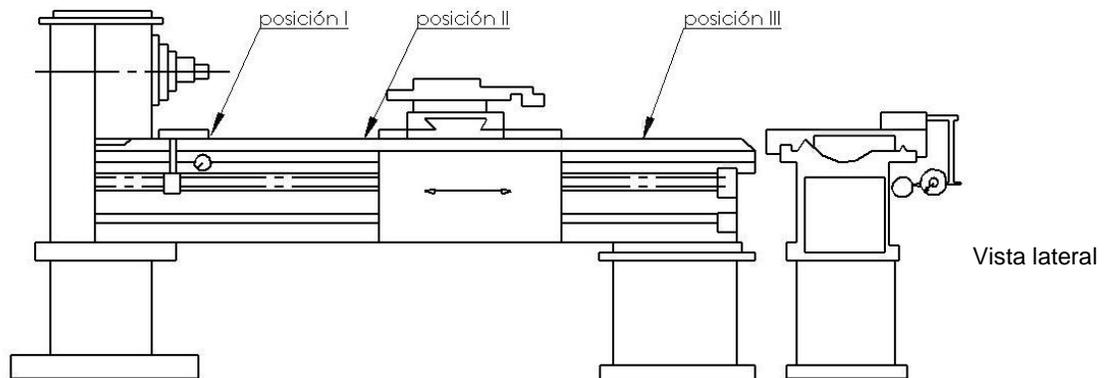


Figura 3.29: Husillo Principal

Y hacia la izquierda por la lectura de las posiciones (I) y (II), el husillo principal ha de ser girado para verificar la rotación real del diámetro exterior por el palpador.

Con el fin de determinar si el movimiento de la sección transversal del torno es perpendicular al eje del husillo principal una superficie de apoyo debe ser careada y checada o el método usual empleando un brazo rotativo puede ser empleado.

Para verificar la precisión de careo de un torno es necesario sujetar una pieza de trabajo a una brida roscada localizada en el husillo por medio de una espiga y maquinar la superficie de la pieza de trabajo con un corte de acabado fino, desde el eje a la superficie exterior. La superficie careada es posteriormente verificada colocando un canto recto en dos indicadores de deslizamiento iguales colocados a cada extremo del diámetro externo e insertando un tercer indicador de deslizamiento del mismo tamaño entre un canto recto y la superficie de un punto cercano al centro Figura 3.29: Husillo Principal, el tercer indicador de deslizamiento debe entrar, ya que la única desviación permisible de la superficie de la cara con respecto a un plano perfecto es una pequeña concavidad. Es incorrecto el verificar

este movimiento de la sección transversal sujetando el indicador al porta-herramienta ya que este seguirá la misma trayectoria del maquinado y por lo tanto la desviación de esta será a cero.

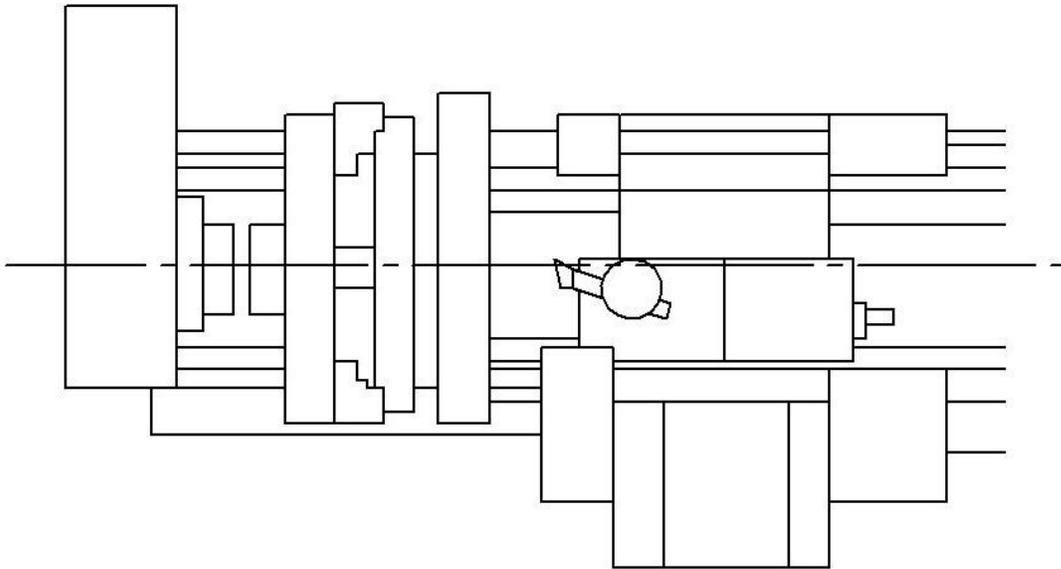


Figura 3.30: Careado

Otro método para verificar el movimiento de la sección transversal es por medio de la sujeción de un borde recto a la guía superior y fijar un indicador a la placa frontal. El borde frontal debe ser ajustado en ángulos rectos con respecto al eje de rotación por medio de la obtención de dos lecturas idénticas en dos posiciones a  $180^\circ$  una de la otra en el plano horizontal. Cuando el borde recto es ajustado, es posible verificar la rectitud y perpendicularidad por medio del indicador de caratula. Es una buena práctica comparar un método de verificación contra otro.

En el capítulo siguiente se presentan los elementos empleados en la construcción y verificación de los elementos estructurales para una máquina-herramienta reconfigurable de propósito específico, la metodología que se presenta se pretende que sea lo más general posible con el fin de ser adaptada a diferentes tipos de MHR e incluso en MH de propósito general.

## 4 Materiales y Métodos

### 4.1 Materiales y equipo para la manufactura y la verificación de los carros de un torno-fresador.

#### 4.1.1 Esquema general de los carros.

Para el proceso de manufactura de elementos metalmecánicos se necesita partir de los dibujos de conjunto, de subconjuntos, de ensamble y de detalle por elemento, donde se establecen las tolerancias de ajuste, las tolerancias de diseño y de los dispositivos de fabricación de los elementos que conforman el ensamble.

La Figura 4.1 muestra el esquema del torno fresador que se analiza en este trabajo, para elaborar dichos dibujos se partió de la bancada diseñada y construida con anterioridad; los demás componentes que se muestran fueron hechos como parte de la presente tesis.

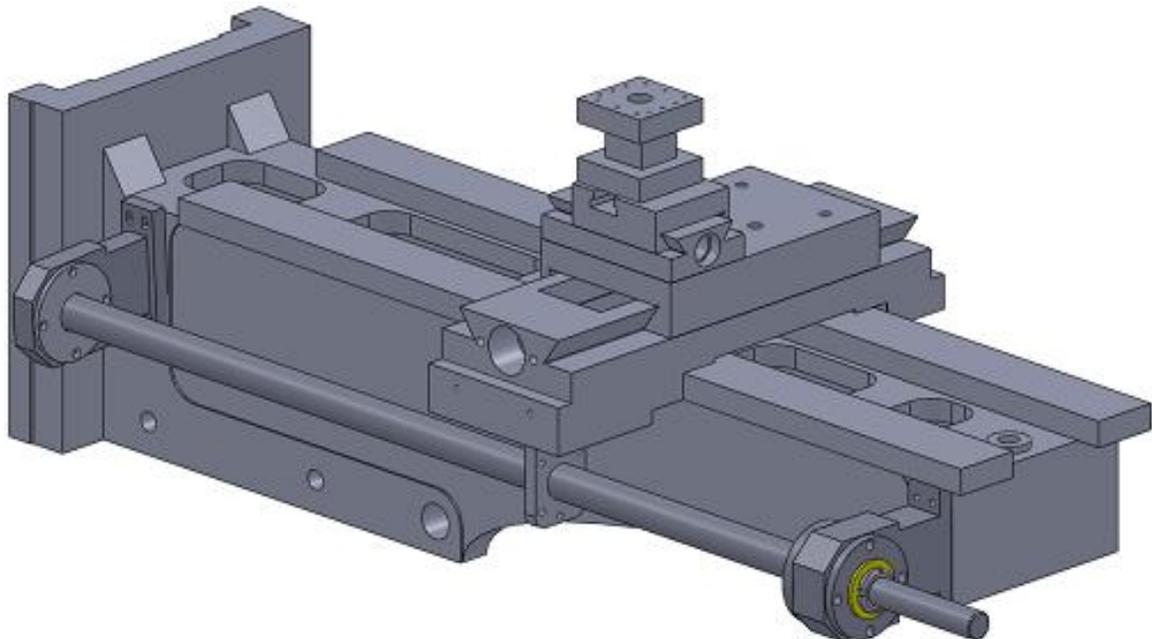


Figura 4.1. Dibujo de conjunto del torno-fresador (solo se muestran la bancada y los carros)

#### 4.1.2 Materiales.

Ya que se conocen los requerimientos de manufactura de cada uno de los elementos estructurales que han de conformar el ensamble, se procede a determinar cuál es el tipo de material a emplear en su manufactura; en este caso se partieron de bloques sólidos de acero AISI 1018 de 40x124x200 mm, 60x60x60 mm, 70x80x30 mm y 6.7x130x225 mm, que se muestran en la Figura 4.2.



Figura 4.2. Bloques para la construcción de los elementos estructurales.

#### 4.1.3 Maquinaria y Equipo de fabricación.

El maquinado y rectificado de las piezas se llevó a cabo en una fresadora vertical Mc Lane X6325, como la que se muestra en la Figura 4.3, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y en un torno paralelo Mc Lane como el que se muestra en la Figura 4.4; se empleó un sistema de sujeción universal tipo prensa, acoplado a la máquina-herramienta mediante tornillos T.



Características	Valor
<b>Mesa</b>	250 x 1270 mm
<b>Ranuras T</b>	3
<b>Quilla</b>	127 mm
<b>Carnero</b>	356 / 508 mm
<b>Husillo</b>	0.04, 0.06, 0.15 mm/rev
<b>Velocidades de husillo</b>	16 vel. 80-5400 r.p.m
<b>Cabezal</b>	2130 x 2000 x 1640 mm
<b>Peso</b>	1150 kg.

Figura 4.3 McLane X6325



Características	Valor
Volteo sobre la bancada	400 mm
Volteo sobre el carro	220 mm
Volteo en el escote	630 mm
Distancia entre centros	1500 mm
Cono del husillo	mt6
Agujero del husillo	24 tipos 9 - 1600 rpm.
Herramienta	25 x 25 mm
Roscas milimétricas	48 tipos 0.5 - 112
Tamaño	380x75x40 - 15x3x1.5 mm/in
Graduación	2mm
Sensibilidad	10 s/ 300mm
Precisión	0.04mm/m

Figura 4.4.Torno McLane.

#### 4.1.4 Instrumentos para la verificación de los carros del torno-fresador.



Longitud	380mm
Ancho	40mm
Altura	75mm
Precisión	10s
Graduación	0.04mm/m

Figura 4.5 Nivel maestro de precisión marca Starrett modelo 199Z.



Dimensiones	11/4" x 11/4" x 15/8"
Capacidad V	25.4 y 12.7 mm
Material	Acero endurecido
Precisión	.001mm/m

Figura 4.6 Bloques Ultra precisos en V con clamps.



Graduación	<u>0.0001"</u>
Rango	<u>0.008"</u>
Lectura	0-40-0
Precisión	0.00015"

Figura 4.7. Indicador de pestaña



Lectura en la caratula	<u>0-100</u>
Graduación	<u>0.001"</u>
Rango	<u>0 a 1"</u>
Precisión	

Figura 4.8 Indicador de caratula



Resolución	.001"
Precisión en 12"	+-.0015"
Precisión en 24"	+-.002

Figura 4.9 Calibrador electrónico de alturas con doble poste.



Figura 4.10. Mármol de taller planitud  $4\mu$  de 400 x 250 x 80 (mm).

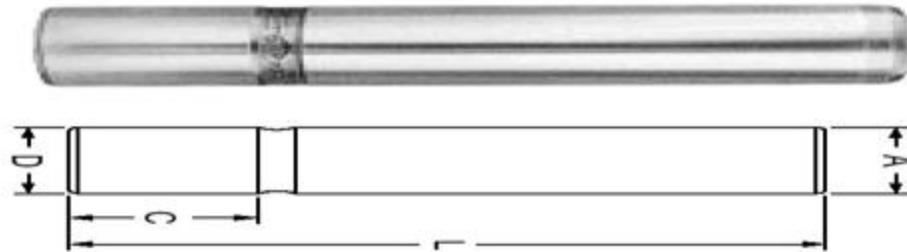


Figura 4.11: Mandril de verificación poner foto mandril empleado



Figura 4.12 reglas paralelas y cilindros rectificados.



Figura 4.13 Microscopio con graduación, lámpara y base magnética.

## 4.2 Métodos.

### 4.2.1 Diseño de los carros.

Existen diferentes conceptos en cuanto al diseño de M-H, por ejemplo, se describen los principios de diseño como: la división de tareas, transmisión de fuerza y energía, así como el cumplimiento de los requisitos de seguridad y confiabilidad (Doubbel, 1994). Por otra parte, se define el diseño en ingeniería como el proceso de aplicar las diferentes técnicas y principios científicos con el objeto de definir un instrumento, proceso u sistema en detalle, suficiente como para que se lleve a cabo su realización (Norton, 2000).

Los conceptos de diseño en MHR son estudiados en (Bright G, 2005) con la meta de desarrollar una máquina modular reconfigurable; las características clave que se mencionan en (Abele E, 2005) son recomposición, estandarización e intercambiabilidad.

Cada elemento integrante del conjunto debe ser calculado de acuerdo a los criterios de diseño aplicables al caso; en el siguiente capítulo se muestra el análisis de esfuerzos y deformaciones en el carro principal, utilizando software comercial basado en el método de elemento finito.

El método de cálculo consistió en términos generales en los mismos pasos usuales en dicho software comercial y otros semejantes: Elaboración del modelo geométrico, aplicación de las cargas y restricciones de movimiento, mallado para la generación del modelo integrado por elementos finitos, etapa de solución numérica y análisis de resultados.

Para el diseño de los carros transversal, longitudinal y auxiliar para el torno-fresador, se tomaron en consideración los parámetros de funcionamiento de la máquina bajo carga normal en la función de torno, ver Figura 4.14, así como las tolerancias dimensionales y geométricas normalizadas, para el correcto ensamblaje y desplazamiento relativo entre los elementos de la máquina-herramienta tomando en cuenta las consideraciones expuestas en el capítulo 2, (Bo Xing a, 2007), (R, 2006) y (Bright G, 2005).

La fuerza de corte considerada para el diseño es la correspondiente a las herramientas de un solo filo empleadas en el torneado, que se caracterizan por tener únicamente una fuerza de corte; se descompone en 2 o 3 componentes para facilitar su análisis y uso. La Ecuación 4.1 fue utilizada para el cálculo de la fuerza de corte, la cual se empleó en el software comercial,

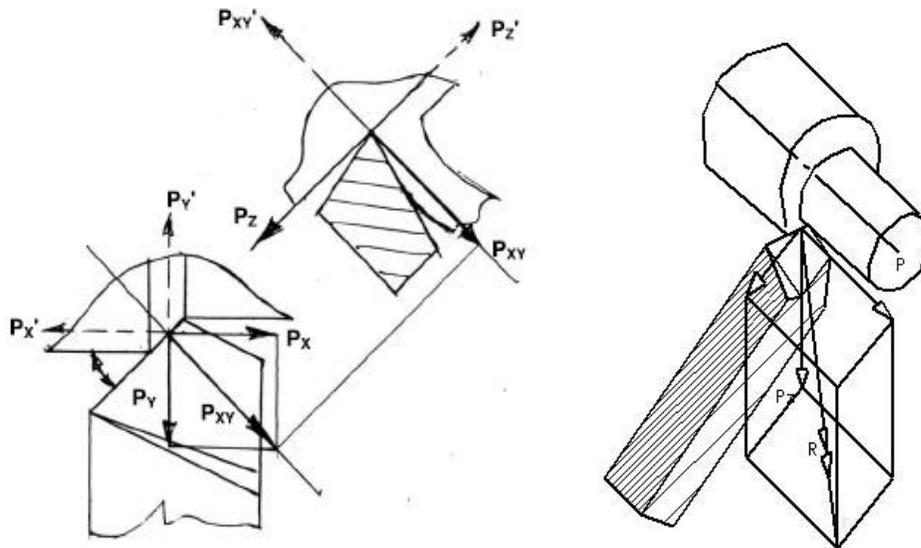


Figura 4.14: Componentes de la fuerza de corte

En (Micheletti, 1989) se desarrolló un modelo donde se establece que la fuerza de corte es proporcional a la resistencia al corte del material, al área de corte y a la geometría de la herramienta, que se deduce del diagrama de fuerzas de corte que muestra la Figura 4.14. Otro modelo es el de la presión específica de corte, en el cual simplifica el área del plano de corte, que depende de la profundidad de corte, del espesor de la viruta después del corte, y del espesor de la viruta antes del corte (Doyle, 1988).

La simplificación que se hace es que el área de corte es el producto del avance de la herramienta ( $t_o$ ) por la profundidad de corte ( $\omega$ ), según la ecuación 4.1.

$$FC = \frac{t_{so}\tau_s\omega\cos(\eta-\gamma_o)}{\sin\beta_o*\cos(\beta_o+\eta-\gamma_o)} \quad (4.1)$$

$\tau_s$ = esfuerzo cortante del material

$t_{so}$ = avance (mm/rev.).

$\omega$  = profundidad de corte.

$\eta$  = ángulo de fricción.

$\gamma_o$ = ángulo de ataque.

$\beta_o$ = ángulo de plano de corte

E = 2.05 GPa.

La metodología de diseño seguida puede verse en la Figura 3.8; Los formatos para los dibujos de diseño utilizados pueden verse en las Figuras 3.9 y 3.10. El resultado del diseño se muestra en el siguiente capítulo.

#### 4.2.2 Diseño del proceso de manufactura.

En la parte de diseño se han determinado las condiciones geométricas y dimensionales de cada una de las piezas, el material del cual han de ser elaboradas, en función de las condiciones de trabajo a las que se encuentra sujeto cada uno de los elementos que han de conformar la MH en su totalidad. Una vez elaborados los dibujos de despiece de cada uno de los elementos que forman el conjunto, se procede a elaborar el análisis de fabricación y de fases, que se documentaron utilizando los formatos de las Tablas 3.2 y 3.3 respectivamente.

La información contenida en los formatos del proceso de manufactura, se obtiene mediante el análisis de la secuencia de las operaciones, considerando el estado superficial final, así como de la geometría del material a partir del cual se fabricará cada elemento mecánico, esto con el fin de llevar un orden lógico en cuanto a la sucesión de las operaciones. Uno de los parámetros más importantes en el proceso de manufactura es la velocidad de corte, modificada en función de las propiedades del material tanto de la pieza a cortar como de la herramienta; se determinó por la ecuación 4.1 de(Villanueva-Pruneda Sergio, 1983).

$$V_m = V_b * K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 \text{ (ec.4.1)}$$

Donde:

$V_m$ = Velocidad de corte modificada en m/min

$V_b$ = Velocidad básica de corte m/min

$K_1$ = Factor de tipo de operación

$K_2$ = Factor de profundidad de corte

$K_3$ = Factor de duración de filo

$K_4$ = Factor de presencia de costras

$K_5$ =Factor de refrigerante

La  $V_m$  se encuentra utilizando valores experimentales semejantes a los de la Tabla 4.1; los valores de los coeficientes de  $K_1$  a  $K_5$  también pueden obtenerse de valores reportados en bibliografía diversa de uso generalizado. A partir de la  $V_m$  ó velocidad teórica, se elige la velocidad del husillo en la máquina-herramienta ya sea para la pieza o la herramienta, pasando a formar parte de los datos contenidos en las hojas de proceso. Los valores de avance y profundidad de corte se obtienen también de datos experimentales reportados con anterioridad, tomando como referencia, además del material de la pieza y de la herramienta, la potencia disponible de la máquina-herramienta para operaciones de desbaste o del tipo de acabado que se desee.

Tabla 4.1 Velocidad de corte en función de la herramienta y material a cortar.

Resistencia Del Material De la pieza daN/ mm <sup>2</sup> Material de la Herramienta	Los valores de $V_b$ están dados en m/min									
	Acero de 40 a 50	Acero > 50 a 60	Acero > 60 a 85	Acero > 85 a 100	Acero > 100 a 140	Fundición gris	Fundición blanca	Bronce	Latón	Aluminio
Acero rápido ordinario	20	15	12	8	4	20	5	20	45	200
Acero rápido superior	30	24	19	14	7	30	8	30	65	300
Carburo medio	100	80	70	60	40	70	15	100	150	500
Carburo duro	200	150	140	110	80	90	20	150	300	600

También se debe considerar para el orden de dichas operaciones, que las condiciones de acabado requerido en la pieza o el tipo de superficie a maquinarse, pues en el caso de la elaboración de cuerdas y saques en una pieza es importante dejar este proceso al final, con el fin de no dañar el maquinado, lo que podría significar una etapa de re-trabajo de la pieza o en un caso extremo desechar esta, ver Tabla 4.2 Condiciones de acabado y superficies consideradas para el carro principal.

Adicionalmente, para elaborar las hojas de proceso se consideraron las restricciones de maquinado, ver Tabla 4.4, Tabla 4.5 y Tabla 4.5; las restricciones que se clasifican de la forma siguiente:

- Geométricas y dimensionales: dadas con respecto a las formas y las posiciones prescritas por el dibujo de proyecto.
- Tecnológicas: impuestas por los medios de fabricación
- Económicas: relacionadas con la reducción de los costos de fabricación.

Tabla 4.2 Condiciones de acabado y superficies consideradas para el carro principal.

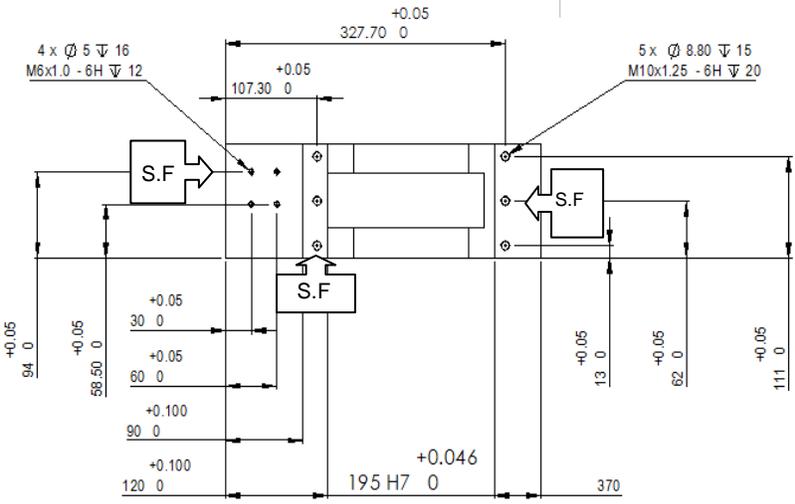
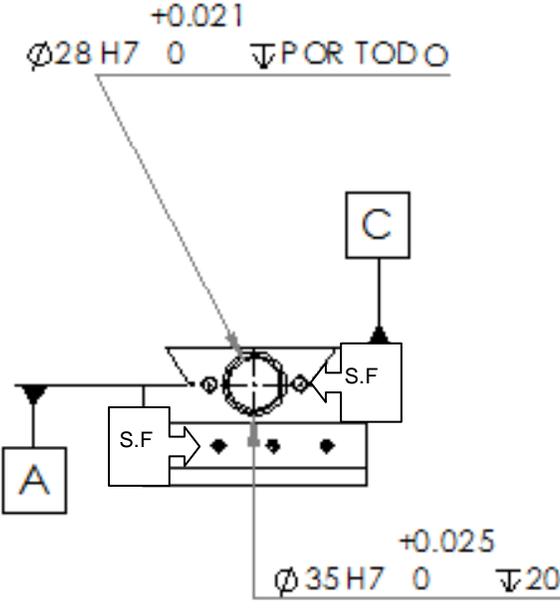
Tipo	Aplicación
<p>Dentro de las piezas rígidas en este subconjunto se considera el carro principal en el cual se puede hacer la pasada de desbaste seguida directamente por la pasada de acabado</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desbastado seguido de acabado en todas las superficies.</li> <li>2. Terminar por las superficies frágiles (partes roscadas).</li> </ol>	 <p>Technical drawing of a main carriage assembly. It shows a cross-section with various dimensions and surface finish symbols (S.F.). Key dimensions include: 327.70<sup>+0.05</sup>/<sub>0</sub> (total length), 107.30<sup>+0.05</sup>/<sub>0</sub> (distance from left edge to center), 195 H7<sup>+0.046</sup>/<sub>0</sub> (width of the central part), and 370 (total width). Surface finish symbols (S.F.) are placed on several surfaces. Callouts indicate 4 x Ø 5 Ψ 16 M6x1.0 - 6H Ψ 12 and 5 x Ø 8.80 Ψ 15 M10x1.25 - 6H Ψ 20. Vertical dimensions on the left are 94<sup>+0.05</sup>/<sub>0</sub>, 58.50<sup>+0.05</sup>/<sub>0</sub>, 30<sup>+0.05</sup>/<sub>0</sub>, 60<sup>+0.05</sup>/<sub>0</sub>, 90<sup>+0.100</sup>/<sub>0</sub>, and 120<sup>+0.100</sup>/<sub>0</sub>. Vertical dimensions on the right are 13<sup>+0.05</sup>/<sub>0</sub>, 62<sup>+0.05</sup>/<sub>0</sub>, and 111<sup>+0.05</sup>/<sub>0</sub>.</p>
<p>Piezas semirrígidas; la dificultad principal consiste en no deformar la pieza bajo la acción de los esfuerzos de sujeción ni de los esfuerzos de corte</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elegir con cuidado las zonas de apoyo.</li> <li>2. Sujetar directamente en las partes opuestas a las zonas de apoyo.</li> </ol>	 <p>Technical drawing of a semi-rigid part. It shows a cross-section with support points A, B, and C. A dimension of 28 H7<sup>+0.021</sup>/<sub>0</sub> is indicated for a hole, with the note 'Ψ POR TODO'. Another dimension of 35 H7<sup>+0.025</sup>/<sub>0</sub> is indicated for a hole, with the note 'Ψ 20'. Surface finish symbols (S.F.) are placed on several surfaces.</p>

Tabla 4.3 Restricciones geométricas y dimensionales consideradas para maquinar el carro principal

Restricción	Orden de operaciones	Dibujo de definición
Planicidad	<p>1°.-Un Desbastado general</p> <p>2°.- Un acabado más exacto de la superficie</p> <p>La superficies A y C deben estar comprendidas en planos de nos mas de .02mm y ya que la pieza puede presentar deformaciones ya que se cambian las tensiones internas, se aconseja un tratamiento estabilizador</p>	
Planicidad	<p>Se desea asegurar la planicidad en las guías en la superficie D</p> <p>3°.- Se maquina primero la superficie D</p> <p>4°.- Se maquina posteriormente la superficie E</p>	
Paralelismo	<p>La superficie C es la más exacta y es la que dará el mejor plano de apoyo.</p> <p>5°.-Maquinar la superficie C</p> <p>6°.-Maquinar la superficie A</p>	
Perpendicularidad	<p>Co objeto de dejar una tolerancia de perpendicularidad tan grande como sea posible se efectúan</p> <p>7°.- Maquinado de la superficie B,D,E y F</p> <p>8°.-Maquinado de la superficie vertical</p>	

Tabla 4.4 Restricciones tecnológicas consideradas para maquinar el carro principal

Restricción	Orden de operaciones	Dibujo de definición
Utilización de un tipo de herramienta	Al utilizar una fresa de carear con piloto, en este caso es necesario: 1°.-Taladrar antes de carear	
Utilización de un tipo de herramienta	2°.- Se taladra antes de hacer la cuerda; emplear una broca de un 2mm menor al tamaño de la cuerda . 3°.- Se hace la cuerda con machuelo M6	

Tabla 4.5 Restricciones económicas consideradas para maquinar el carro principal.

Restricciones	Orden de operaciones	Dibujo de definición
Reducir el desgaste de las herramientas	La herramienta de acabado ataca sobre una superficie sin maquinar para protegerla, se puede; <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rectificar el extremo de la pieza</li> <li>• Cortar el bisel</li> </ul>	

El resultado del diseño en el proceso de manufactura se muestra en el siguiente capítulo.

### 4.2.3 Fabricación unitaria.

Una vez realizado el análisis de fabricación unitaria de los carros del torno-fresador, se procedió a la manufactura de todos sus componentes; la Figura 4.15 muestra un aspecto del proceso de fabricación del carro principal.



Figura 4.15. Proceso de maquinado del carro principal.

Los sistemas de sujeción empleados para fabricar el prototipo presentado en este trabajo fueron de propósito general, como son las prensas y sistemas de topes atornillables con ranuras T en las mesas de las máquinas-herramienta empleadas en la manufactura. Con el fin de optimizar el proceso de manufactura de los carros, se diseñó un dispositivo de sujeción especial para maquinar el carro principal del torno-fresador, considerando su utilización en un proceso de producción requerido para obtener 50 pieza/año, como se muestra en la Figura 4.16.

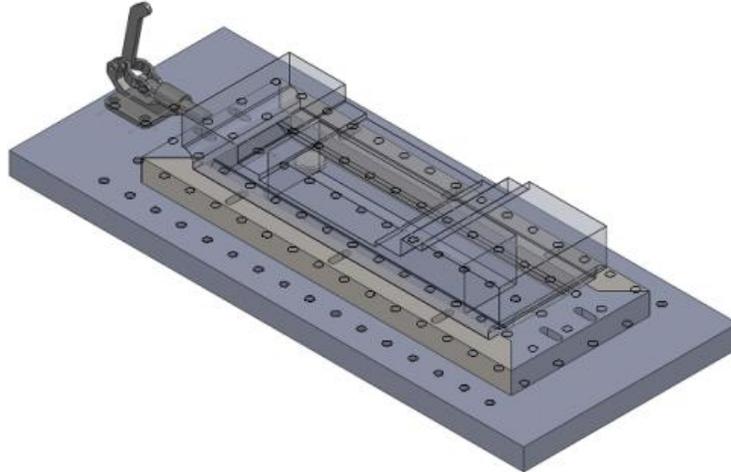


Figura 4.16 Sistema de sujeción diseñado para facilitar la fabricación del carro principal.

#### 4.2.4 Verificación de los elementos componentes de una MH.

Una vez fabricado cada componente de una máquina-herramienta se procede a la verificación de éstos, para asegurar su precisión dimensional y las características geométricas que se requieren para su adecuado funcionamiento.

Para la fabricación de los carros se siguieron las recomendaciones generales sobre análisis de fabricación y análisis de fase en el proceso; para la verificación geométrica de las piezas fabricadas se aplicaron las normas ISO correspondientes (International Standard Organization, 2006).

El principal objetivo de este servicio es garantizar la fiabilidad del proceso de fabricación y la calidad de las piezas fabricadas en unas condiciones satisfactorias, así como disminuir el tiempo de puesta a punto de estos procesos. Las hojas de verificación, describen todas las comprobaciones de carácter general que tienen aplicación inmediata en la verificación de máquinas herramientas.

Las comprobaciones específicas a que deben someterse las máquinas herramientas están recogidas en hojas de verificación contenidas en las normas.

Las pruebas geométricas las suele efectuar el mismo fabricante antes de entregar la máquina, aunque eventualmente el usuario pueda repetirlas. Los resultados de las pruebas se incluyen como certificado de calidad junto a la documentación de la máquina. Una descripción general de los procedimientos principales para verificar las tolerancias geométricas y de desplazamiento en elementos mecánicos, y que fueron empleados en esta tesis, son:

#### 4.2.4.1 De rectitud:

Verificación de la rectitud de una cara de la ranura de cola de milano, como se muestra en la Figura 4.17, con la ayuda de un comparador de caratula, el medidor de alturas permite verificar rápidamente y con una gran precisión la rectitud de las caras sobre las piezas o dispositivos de control, usándolo sobre el mármol, mesas de máquinas o alguna otra superficie de referencia.

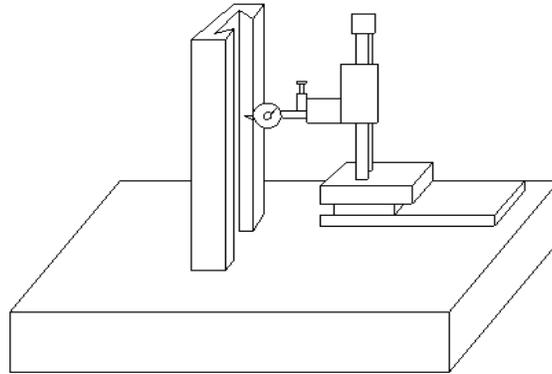


Figura 4.17. Medición de rectitud en la superficie de las colas de milano.

#### 4.2.4.2 De Planicidad

La verificación de planicidad de una de las caras de la pieza. El indicador de caratula se monta sobre la base magnética la cual se desliza sobre un mármol de verificación con el fin de tener una superficie de comparación, posteriormente con el indicador de pestaña se procede a medir los puntos marcados sobre la pieza a verificar, los cuales se recomienda rotular a una distancia de 10 mm de distancia longitudinal y transversal, posteriormente se procede a elaborar un mapa de la superficie con las mediciones de los puntos obtenidos, tomando como plano de referencia el mármol de verificación según la Figura 4.18.

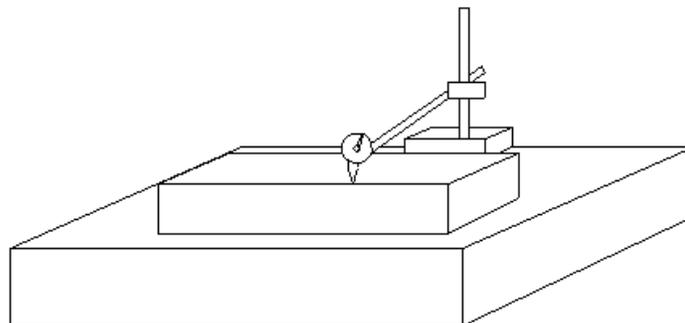


Figura 4.18. Medición de planicidad

#### 4.2.4.3 De cilindridad

Para medir el defecto de cilindridad de una pieza puede utilizarse un montaje como el mostrado en la Figura 4.19 , la pieza está montada sobre dos bloques V , el palpador del comparador de caratula se apoya sobre la generatriz superior, y la base del comparador en este caso una base magnética se desliza contra una regla de referencia alineada paralelamente a los puntos o al eje de las ve.

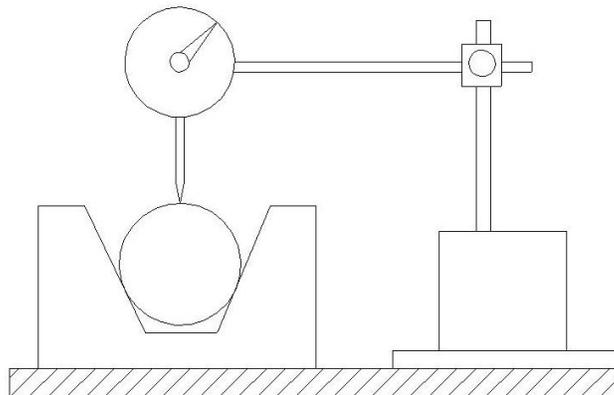


Figura 4.19. Medición de cilindridad.

La desviación de la aguja marca el defecto de rectitud de la generatriz.

Si la desviación es idéntica en todas las posiciones de la pieza en la Figura 4.20 , el defecto de cilindridad consiste en las diferencias del diámetro, pero el eje es rectilíneo.

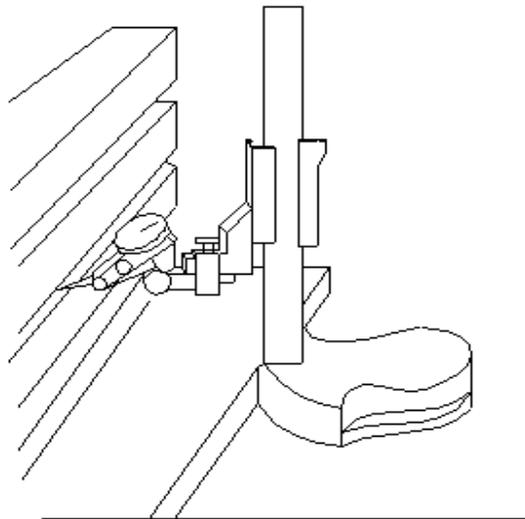
Si la desviación cambia en sentido para dos posiciones opuestas de la pieza, el defecto de cilindridad consiste en los defectos de rectitud del eje y de las generatrices.



Figura 4.20. Rectitud en un cilindro.

#### 4.2.4.4 De paralelismo

Verificación de paralelismo con el arreglo que se muestra en la siguiente Figura 4.21, mármol, pieza a verificar, Indicador de alturas, Regla paralela a la pieza a verificar.



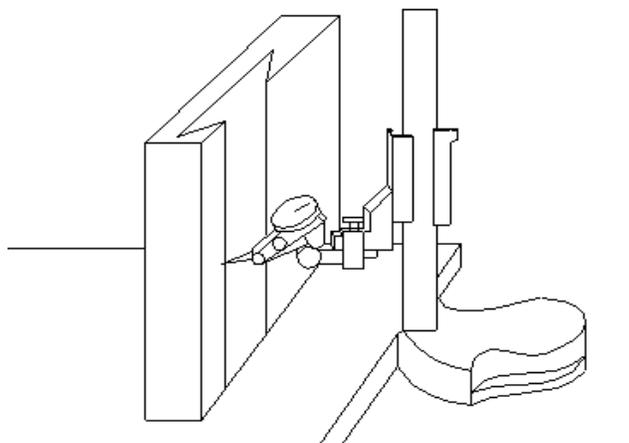
**Figura 4.21. Verificación de Paralelismo.**

Estos elementos permiten verificar rápidamente y con una precisión que es función del comparador de pestaña empleado, el paralelismo de cualquiera de las caras interiores de las ranuras de la pieza, con respecto de la cara de referencia que está en contacto con el mármol.

La medición del defecto de paralelismo, se determina con las lecturas del comparador, al deslizar paralelamente la base apoyada sobre la regla y el mármol

#### **4.2.4.5 De perpendicularidad**

Se empleo de nuevo un indicador de alturas el cual puede ser equipado con un indicar de caratula, para poder hacer la medición del defecto de perpendicularidad del canto del mármol, con respecto a la referencia, en este caso un juego de reglas paralelas, como se muestra en la Figura 4.22



**Figura 4.22. Verificación de perpendicularidad.**

#### 4.2.4.6 Paralelismo de las guías con respecto al husillo de trabajo.

Con movimiento paralelo del carro principal respecto al husillo de trabajo en el plano horizontal, se verifica que el error permisible se cumpla, usando básicamente un microscopio con ejes cartesianos graduados en el ocular, como se muestra en la Figura 4.23.

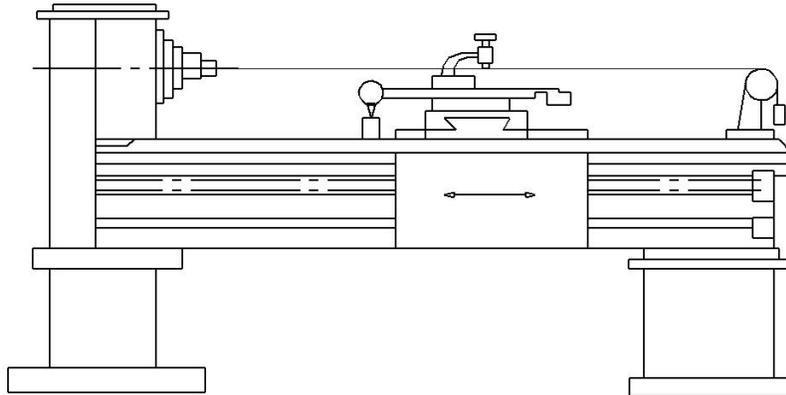


Figura 4.23. Verificación de paralelismo entre las guías y el husillo principal.

#### 4.2.4.7 Paralelismo del husillo del contrapunto respecto a las guías de bancada.

El manguito del contrapunto se ubica en su posición saliente máxima; el indicador de caratula se coloca sobre el carro principal y se desplaza sobre el manguito del contrapunto, como se muestra en la Figura 4.24, obteniendo el paralelismo entre este y los carros del torno.

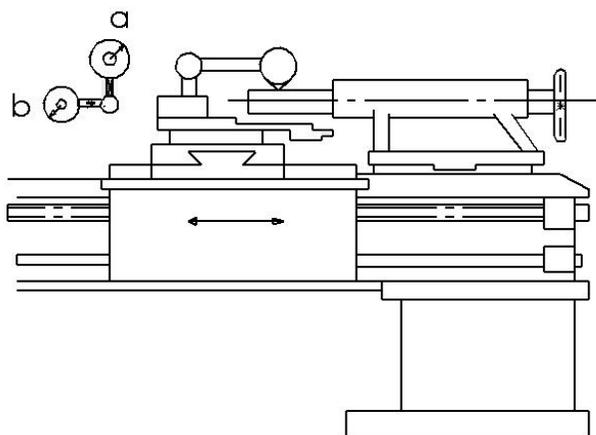


Figura 4.24. Paralelismo entre el husillo del contrapunto y las guías de la bancada

#### 4.2.4.8 Paralelismo del Husillo principal con respecto a las guías de la bancada.

Un extremo del mandril de verificación se fija en el cono del husillo principal del torno, con el otro extremo del mandril libre. La verificación se realiza desplazando el indicador de carátula mediante el carro principal, como se muestra en la Figura 4.25. Adicionalmente en este montaje se pueden realizar verificaciones de concentricidad de giro del husillo con el mandril, perpendicularidad entre el husillo principal y los carros. También puede verificarse la perpendicularidad de desplazamiento entre los carros cambiando el posicionamiento del indicador a una de las caras del carro vertical.

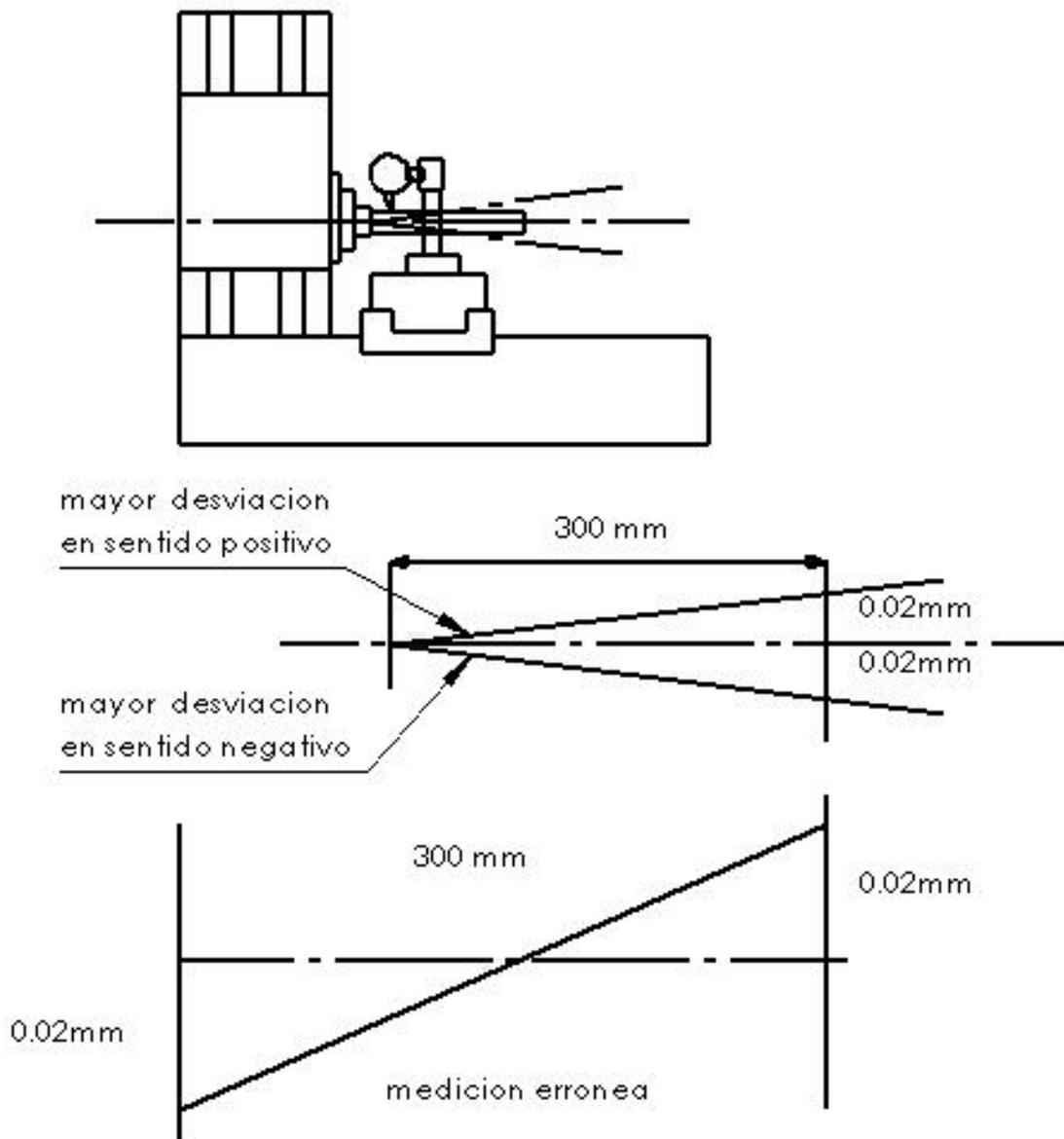


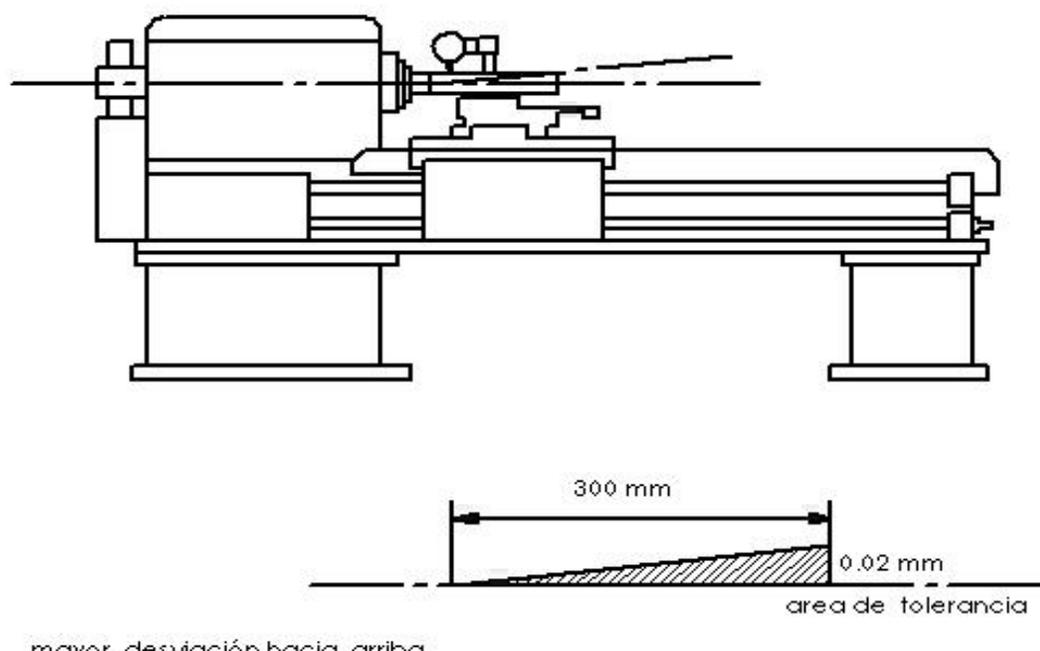
Figura 4.25. Desviación del husillo principal con respecto a las guías

#### 4.2.5 Cartas de tolerancias para la verificación del torno.

Las hojas para la verificación de MH contienen tolerancias normalizadas (International Standard Organization, 1989); las tablas 4.6, 4.7 y 4.8 muestran la información utilizada para la verificación del prototipo fabricado del torno.

Tabla 4.6 Carta de verificación 1

Carta de prueba para tornos de acabado de hasta 400mm de altura de centros	No. 1 Carta 1
Prueba a ser aplicada	Error permisible en mm
<b>Bancada</b>	
Rectitud de la bancada en la dirección longitudinal (solo deformación convexa)	0 a 0.02 por cada 1000 mm
Rectitud de la bancada en la dirección longitudinal (solo deformación cóncava)	0 a 0.02 por cada 1000 mm
Nivel de la bancada en dirección transversal	$\pm 0.02$ por cada 1000 mm
Rectitud de las guías laterales (para máquinas de más de 3m de longitud) longitud de torneado únicamente; medidas tomadas por medición de un cable tensó y microscopio, o una arista longitudinal.	0.02 por cada 1000 mm
Paralelismo de las guías contrapunto con movimiento del carro porta-herramienta	0.02 por cada 1000 mm

Husillo de trabajo:	
Centro; posición real de trabajo	0.01
Camisa de centrado posición real de trabajo	0.01
Husillo de trabajo para deslizamiento axial medido en 2 puntos, con un desplazamiento de 180°	0.01
Conicidad del husillo de trabajo verdadera: 1.- nariz más cercana al husillo 2.- a una distancia de 300 mm	0.01 0.03
Husillo de trabajo paralelismo con respecto a la bancada en el plano vertical (elevándose hacia el extremo libre del mandril únicamente)	0 a 0.02 por cada 300 mm
Husillo de trabajo: paralelismo con la bancada en el plano horizontal (extremo libre del mandril inclinado con respecto a la dirección de la presión ejercida por la herramienta )	0 a 0.02 por cada 300 mm
 <p>mayor desviación hacia arriba</p>	
Carta de prueba para tornos de acabado de hasta 400mm de altura de centros	No.1 Carta 1
Prueba a ser aplicada	Error permisible en mm
Carro porta-herramienta:	
Movimiento paralelo de la guía superior con respecto al husillo de trabajo en el plano vertical	0.03 mm/m
Contrapunto :	

El manguito del contrapunto es paralelo a la bancada en el plano vertical (frente y saliente )	0 a 0.02 por cada 100 mm
El manguito del contrapunto es paralelo con la bancada en el plano horizontal (extremo frontal inclinado en la dirección de la presión ejercida por la herramienta)	0 a 0.01 por cada 100mm
Cono del manguito paralelo a la bancada en el plano vertical (extremo libre de la saliente del mandril)	0 a 0.03 por cada 300mm
Cono del manguito paralelo a la bancada en el plano horizontal (extremo libre del mandril inclinado en dirección de la presión de la herramienta)	0 a 0.02 por cada 300mm
Eje de centros (mandril entre centros) paralelo a la bancada en el plano vertical (saliente del mandril con respecto al final del contrapunto)	0 1 a 0.02

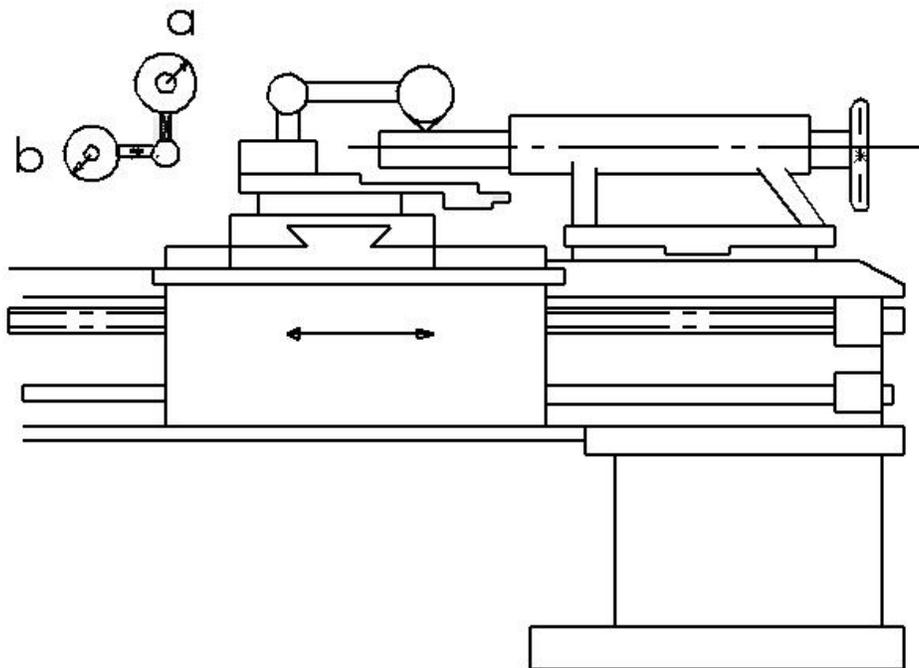
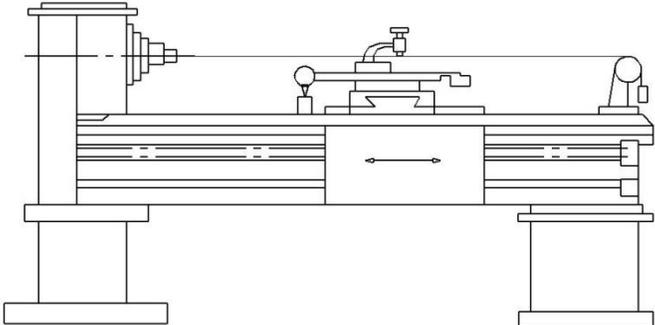
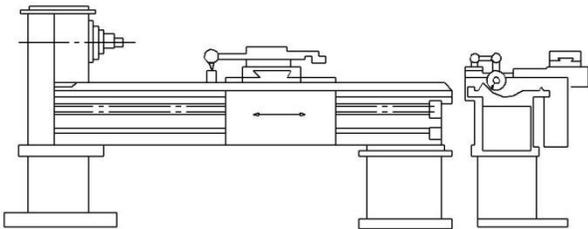


Tabla 4.7 Carta de verificación 2

Carta de prueba para tornos de acabado de hasta 400mm de altura de centros		No.1 Carta 3
Prueba a ser aplicada	Error permisible en mm	
husillo embalado para desplazamiento axial	0.01	
Baleros del husillo alineados entre si (el eje de los baleros siempre debe ser paralelo a las guías de la bancada ) en el plano vertical (mediciones tomadas en las posiciones II y III)	0.1	
Baleros del husillo alineados entre si (el eje de los baleros siempre debe ser paralelo a las guías de la bancada ) en el plano horizontal	0.1	
Los baleros del husillo embalado deben alinearse con "media tuerca" en el plano vertical (la medida se debe tomar con la "media tuerca" cerrada el carro porta-herramienta en la posición central , tomando como punto de inicio la posición I)	0.15	
ithem al anterior pero en el plano horizontal	0.15	
Precisión de trabajo de la maquina: El torno da una vuelta dentro de	0.01	
El torno gira de manera cilíndrica		
Trabaja entre centros en el rango..... El trabajo sujeto en el chuck entre..... Para cada 1000 mm 0.01 mm Añadir hasta 0.05 mm máximo	0.02 por cada 300 0.02 por cada 200	
Caras del torno (huecas o cóncavas únicamente) entre	0 a 0.02 por cada 300 mm en diámetro	

- Condiciones bajo las cuales se ha de realizar la prueba.
  - La máquina se encuentra estática.
  -
- No se requiere precalentamiento de los husillos La máquina ha sido previamente nivelado

Tabla 4.8 Carta de verificación 3

Bancada			
		Elementos a emplear <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrapunto con polea</li> <li>• Plomada</li> <li>• Cable de acero</li> <li>• Palpador con indicador de caratula</li> <li>• Condiciones de la máquina <sup>1</sup></li> </ul>	
Medición realizada	Figura	Tolerancia permitida	Medición real obtenida
Rectitud de las guías laterales (para máquinas de más de 3m de longitud) longitud de torneado únicamente; medidas tomadas por medición de un cable tensó y microscopio, o una arista longitudinal.	2	0.02 por cada 1000 mm	
		Elementos empleados <ul style="list-style-type: none"> <li>• Base magnética</li> <li>• Palpador con indicador d de caratula</li> </ul> Condiciones de la máquina <sup>4</sup>	
Medición realizada	Figura	Tolerancia permitida	Medición real obtenida
Paralelismo de las guías contrapunto con movimiento del carro porta-herramienta	3	0.02 por cada 1000 mm	

- Condiciones bajo las cuales se ha de realizar la prueba.
  - La máquina se encuentra estática.
- No se requiere precalentamiento de los husillos La máquina ha sido previamente nivelada

## 5 Resultados.

### 5.1 Diseño del carro principal.

Inicialmente algunos de los elementos estructurales del torno se fabricaron en fundición de aluminio por empresas locales. A estos elementos se les realizaron diversas pruebas metalográficas para determinar los componentes de la fundición y determinar si cumplían con las especificaciones requeridas para la fabricación de máquinas herramientas; desafortunadamente se encontró que la fundición realizada no cumplía con las especificaciones requeridas para la fabricación de elementos de MH, ya que el contenido de los elementos en la fundición no correspondía con el de la aleación buscada.

Por lo anterior se decidió emplear acero AISI 1020 para el diseño de los prototipos de los carros para el torno, y elaborar las hojas de su proceso de manufactura.

#### 5.1.1 Cálculo de esfuerzos y deformaciones.

Utilizando la ecuación 4.1, se calculó la fuerza de corte en torneado; de (Casillas, 1981) se obtiene que para un cortador tipo buril de acero rápido los valores recomendados sean:

$$\gamma_o = 14^\circ \quad \tau_s = 180 \text{ MPa.}$$

También, para valores normalizados en maquinados se tiene:

$$t_{so} = 0.15 \text{ mm/rev} \quad \omega = 2 \text{ mm} \quad r = 0.6$$

$$\beta_o = 45^\circ + \frac{1}{2}\gamma_o - \frac{1}{2}\eta \quad (2)$$

$$\beta_o = \tan^{-1} \left( \frac{r + \cos(\gamma_o)}{1 - r + \sin(\gamma_o)} \right) \quad (3)$$

De donde  $\beta_o = 34.2^\circ$

Sustituyendo en (4.1) se obtiene que  $F_c = 122\text{N}$

Ya obtenida la fuerza a emplearse dentro del maquinado según los cálculos realizados se podrá realizar la simulación sobre el modelo propuesto, y determinar si el nuevo modelo propuesto cumple con las expectativas de diseño.

Las consideraciones para el análisis realizado en un software comercial basado en el método de elemento finito, se muestra en la Figura 5.1:

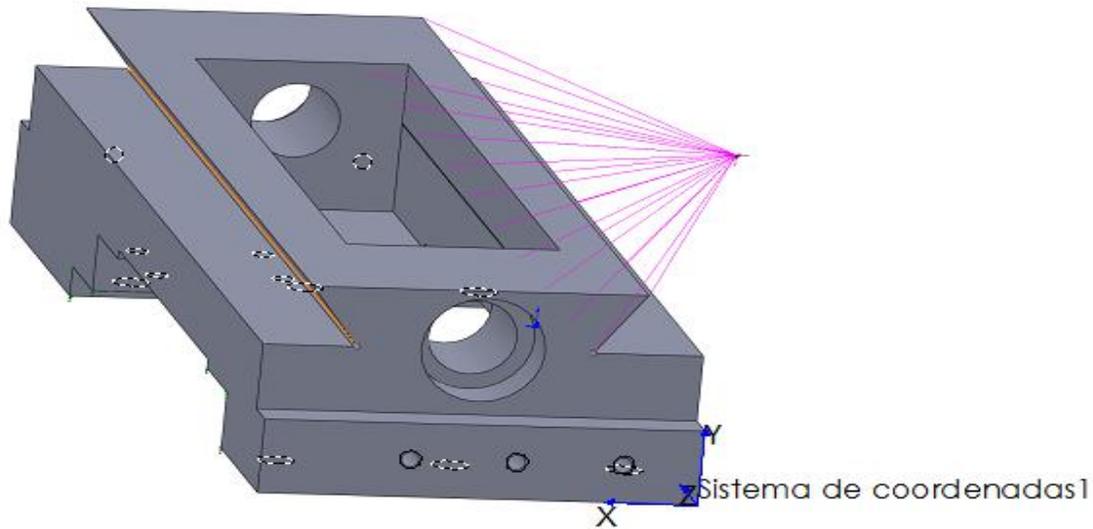


Figura 5.1. Modelo mostrando fuerzas de carga y restricciones.

Tabla 5.1. Definición del material.

Nombre de material	Acero AISI 1020		
Tipo de modelo del material	Isotrópico elástico lineal		
Criterio de falla por resistencia del material	Teoría del esfuerzo cortante		
Criterio de falla aplicado por destino de uso	Deformación máxima admisible en el elemento		
Módulo elástico	2e+011 N/m <sup>2</sup>		
Coefficiente de Poisson	0.29		
Módulo cortante	7.7e+010 N/m <sup>2</sup>		
Densidad	7900 kg/m <sup>3</sup>		
Límite de tracción	4.2051e+008	N/m <sup>2</sup>	Constante
Límite elástico	3.5157e+008	N/m <sup>2</sup>	Constante

Tabla 5.2. Deflexión admisible vs calculada.

Nombre	Tipo de cálculo	Deflexión máxima admisible	Máxima calculada	Ubicación (Figura 5.1. Modelo mostrando fuerzas de carga y restricciones.)
Desplazamientos	Desplazamiento	.008 mm de (Schlesinger, 1978)	URES: =1.76267e-6 m (UX=1.264e-6m UY= 1.22 e-6 m UZ=1.535 e-7m)	x=17 mm, y=72.8168 mm, z=-229.643 mm (Nodo: 824)

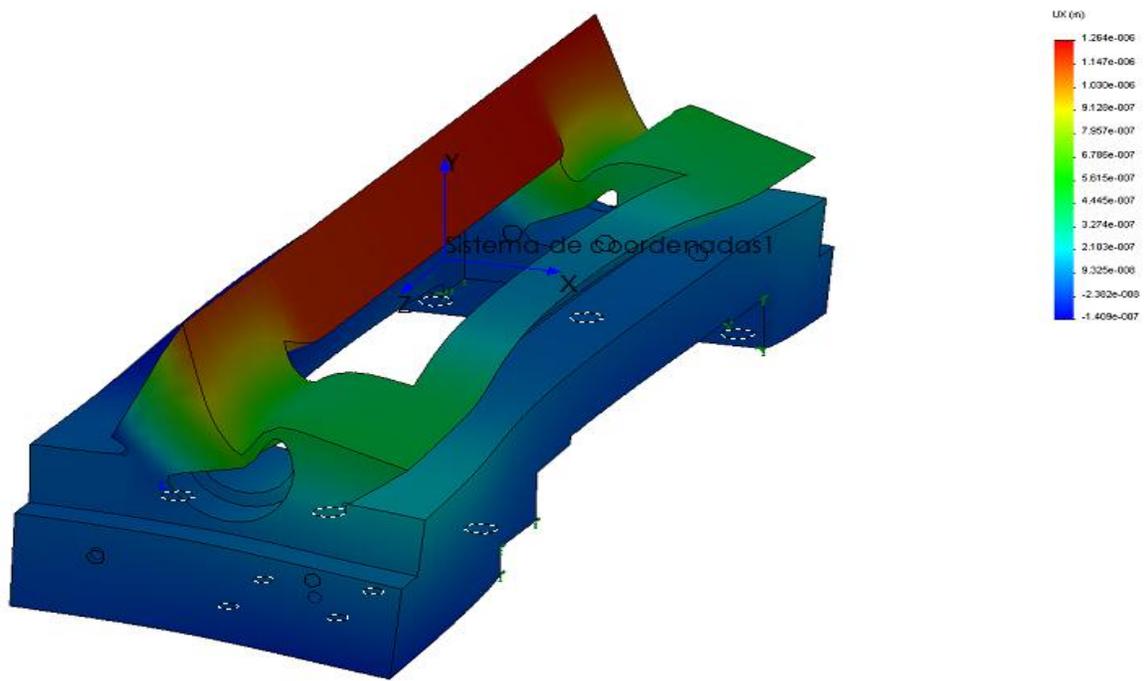


Figura 5.2. Desplazamientos en X el carro principal

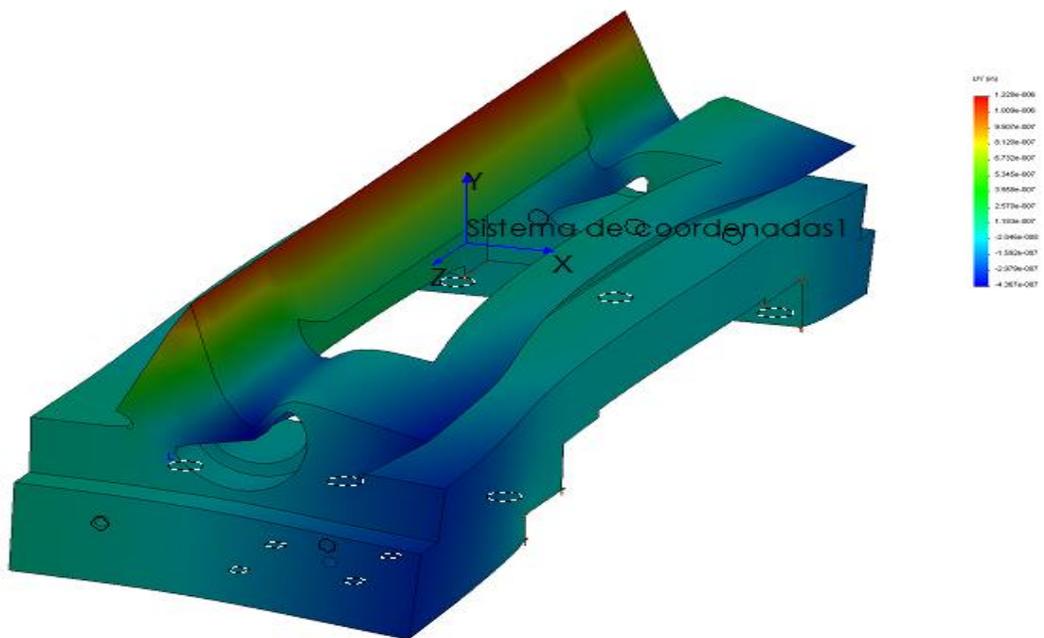


Figura 5.3 Desplazamientos en Y el carro principal

### 5.1.2 Dibujos de diseño.

Los planos de conjunto y de subconjunto de los carros se muestran en las figuras 5.4 y 5.5; el dibujo de detalle del carro principal se muestra en la Figura 5.6

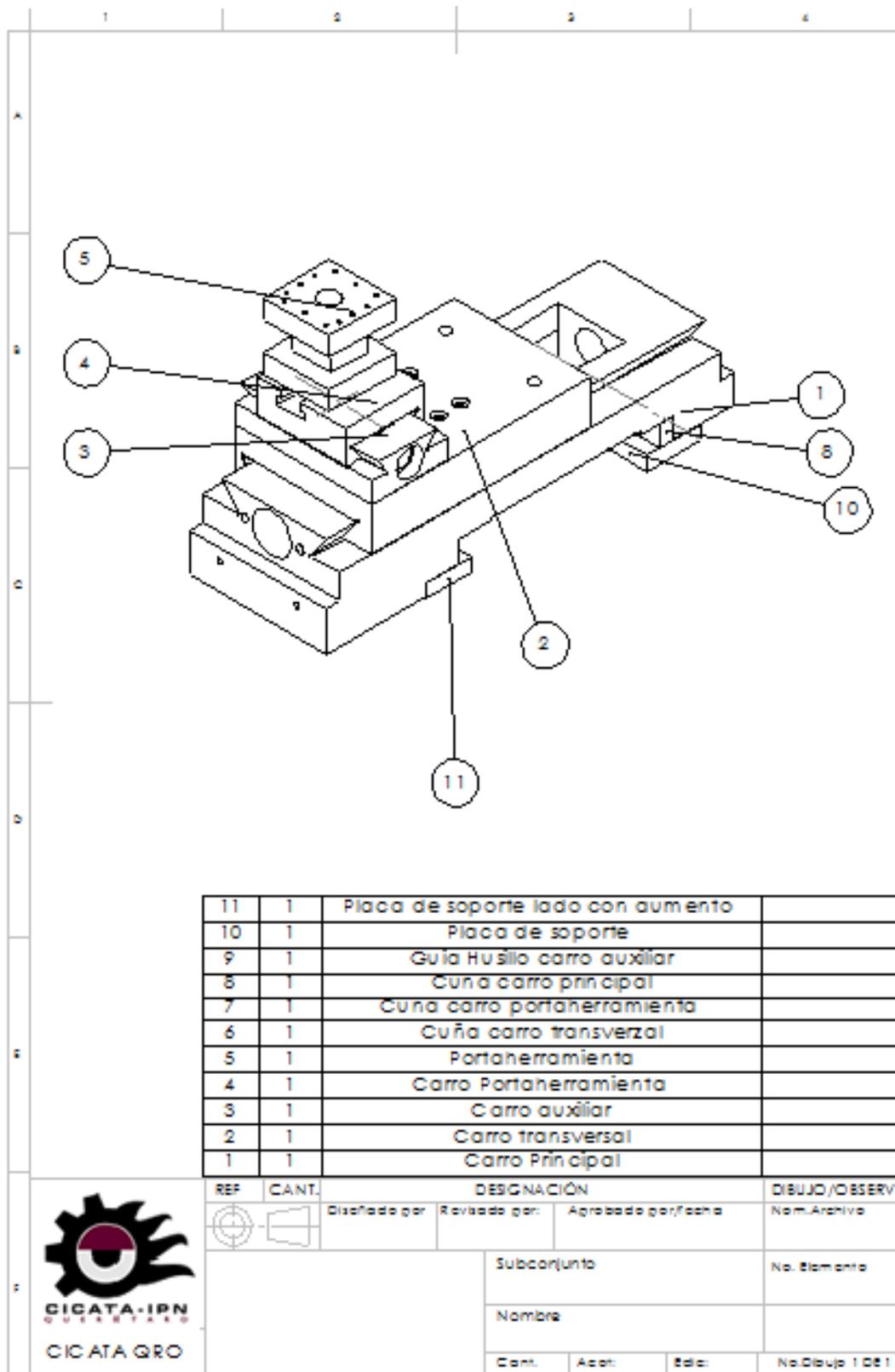


Figura 5.4 Dibujo de subconjunto de los carros del Torno-fresador

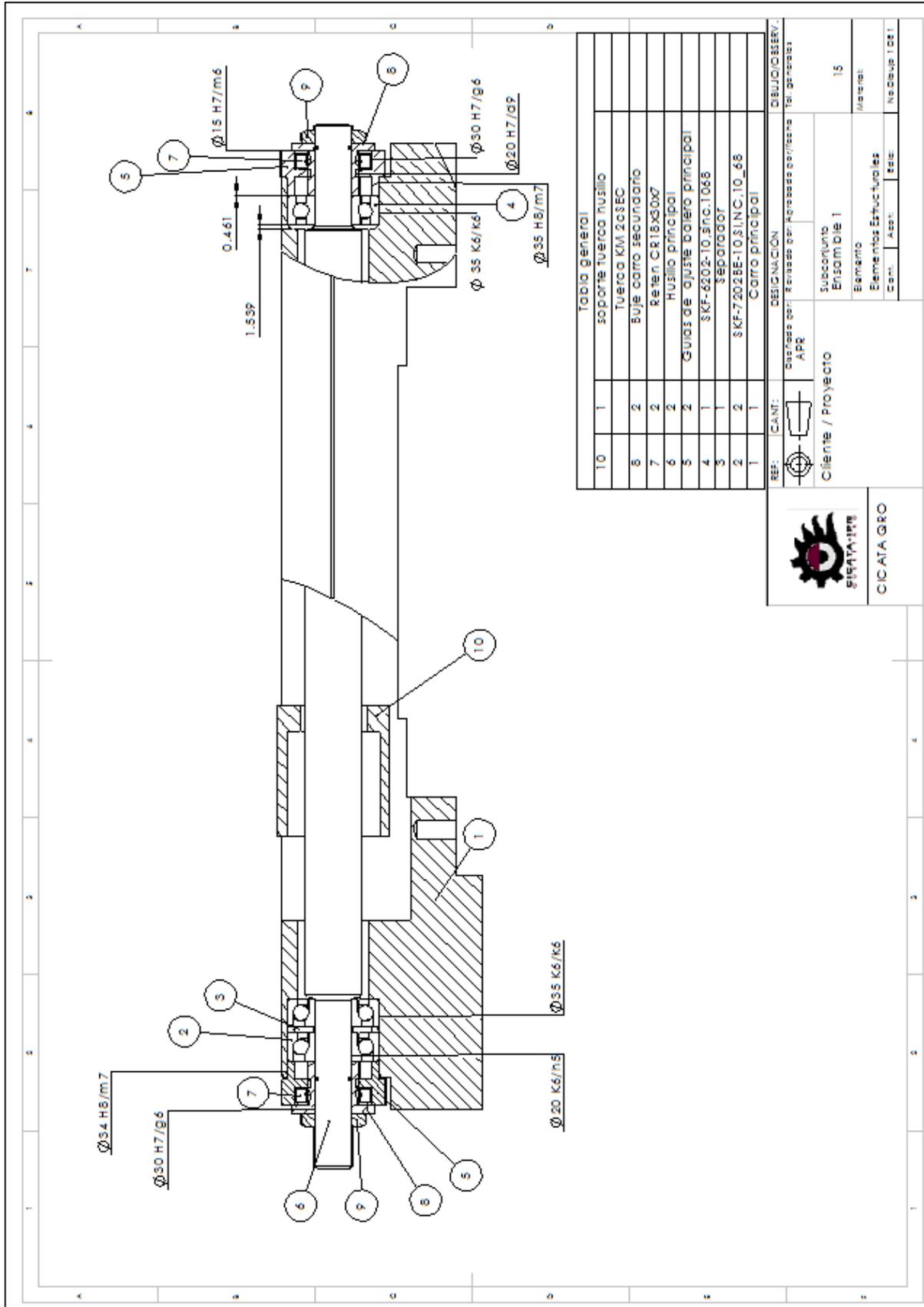


Figura 5.5 Dibujo de ensamble del carro principal con el husillo del carro transversal

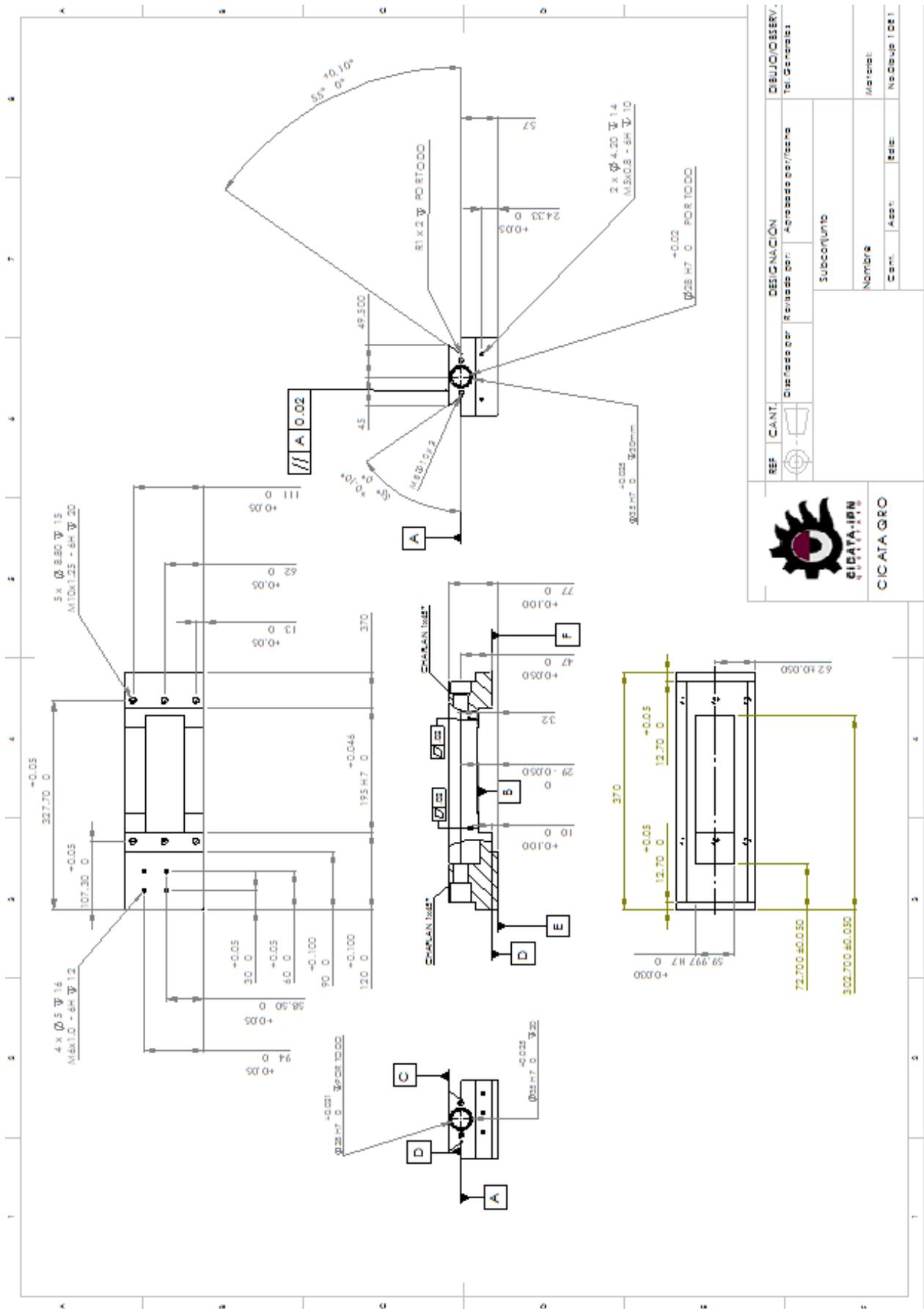
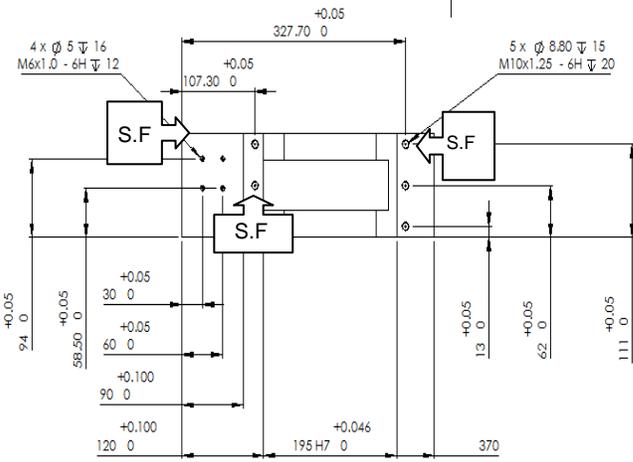
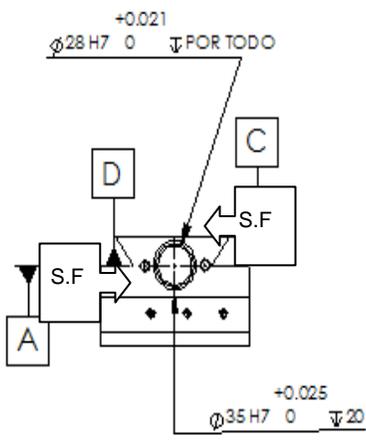


Figura 5.6 Dibujos de despiece del carro principal

## 5.2 Análisis de fabricación.

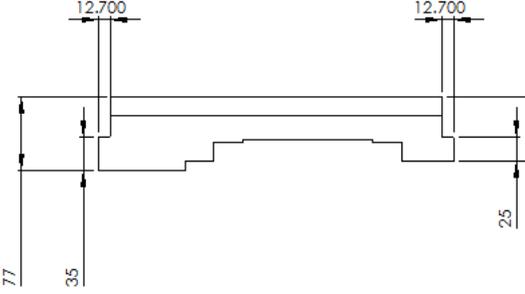
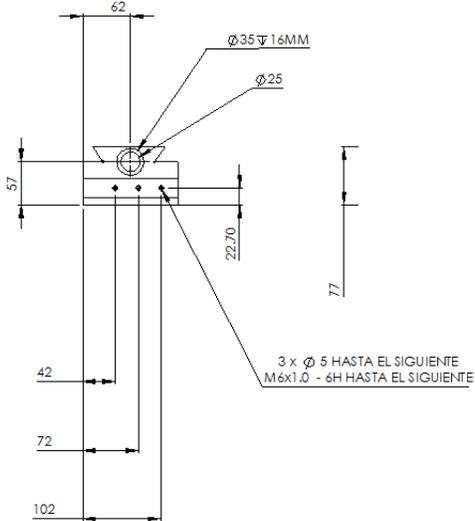
El primer paso para documentar el análisis de fabricación del carro principal del torno, fue establecer las consideraciones aplicables a su maquinado, mostradas en la Tabla 5.3, adicionales a la información contenida en las Tabla 4.2, Tabla 4.3 y Tabla 4.4.

Tabla 5.3 Consideraciones de maquinado y acabado para el análisis de fabricación.

Tipo	Aplicación
<p>Dentro de las piezas rígidas en este subconjunto se considera el carro principal, en el cual se puede hacer la pasada de desbaste seguida directamente por la pasada de acabado</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desbastado seguido de acabado en todas las superficies.</li> <li>2. Terminar por las superficies frágiles (partes roscadas).</li> </ol>	 <p>The drawing shows a side view of a lathe carriage with various dimensions and surface finish (S.F.) requirements. Key dimensions include: 327.70<sup>+0.05</sup> 0, 107.30<sup>+0.05</sup> 0, 94<sup>+0.05</sup> 0, 58.50<sup>+0.05</sup> 0, 30<sup>+0.05</sup> 0, 60<sup>+0.05</sup> 0, 90<sup>+0.100</sup> 0, 120<sup>+0.100</sup> 0, 195 H7 0, 370, 13<sup>+0.05</sup> 0, 62<sup>+0.05</sup> 0, and 111<sup>+0.05</sup> 0. Surface finish (S.F.) is indicated on several surfaces. Thread specifications are given as 4 x <math>\varnothing 5 \sqrt{16}</math> M6x1.0 - 6H <math>\sqrt{12}</math> and 5 x <math>\varnothing 8.80 \sqrt{15}</math> M10x1.25 - 6H <math>\sqrt{20}</math>.</p>
<p>Piezas semirrígidas; la dificultad principal consiste en no deformar la pieza bajo la acción de los esfuerzos de sujeción ni de los esfuerzos de corte</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Elegir con cuidado las zonas de apoyo.</li> <li>4. Sujetar directamente en las partes opuestas a las zonas de apoyo.</li> </ol>	 <p>The drawing shows a top view of a lathe carriage with support points A, B, C, and D. Surface finish (S.F.) is indicated on several surfaces. Dimensions include: <math>\varnothing 28</math> H7 0 <math>\sqrt{0.021}</math> FOR TODO and <math>\varnothing 35</math> H7 0 <math>\sqrt{0.025}</math>.</p>

El segundo paso para documentar el proceso fue hacer el análisis de fabricación, que permitiera determinar la secuencia de las operaciones de maquinado y el tipo de maquinaria y equipo a emplear; el resultado correspondiente al carro principal se muestra en la Tabla 5.4

Tabla 5.4. Análisis de Fabricación.

Fase	Esquema explicativo	Máquinas, Herramientas de corte, elementos de sujeción y control	Observaciones
10		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Fresadora de cabezal vertical</li> <li>-Fresa frontal de 2 cortes sin zanco</li> <li>-Dispositivo de sujeción 1</li> <li>-Vernier y patrón de rugosidades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apoyo en el plano 1,2 y 3</li> <li>Orientación 4 y 5</li> <li>Apriete en B</li> <li>Fresar plano 1</li> </ul>
20		<ul style="list-style-type: none"> <li>-cabezal angular para fresa</li> <li>-Aditamento para machueleado para taladro.</li> <li>-broca de 4.5 mm</li> <li>-machuelo métrico de 6 mm</li> <li>Broca de 1 ¼</li> <li>Rima de 35 mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apoyo en el plano 1,2 y 3</li> <li>Orientación 4 y 5</li> <li>Apriete en B</li> <li>Taladrar en el plano 1</li> </ul>

Continuación Tabla 5.4:

Fase	Esquema explicativo	Máquinas, Herramientas de corte , elementos de sujeción y control	Observaciones
30		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Fresa con aditamento angular a 90°</li> <li>- Mesa de coordenadas</li> <li>-Broca de 6 mm</li> <li>-Dispositivo de sujeción universal</li> <li>Sistema de verificación</li> <li>-Plantilla de los barrenos</li> </ul>	<p>Apoyo en el plano 1,2 y 3</p> <p>Orientación 4 y 5</p> <p>Apriete en B</p> <p>Taladrar en el plano 1</p>
40		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Fresadora de cabezal vertical</li> <li>-cortador para cola de milano con ángulo de 55°.</li> <li>-dispositivo de sujeción B</li> <li>Reglas patrón para ángulos, patrón de rugosidad</li> </ul>	<p>Apoyo en el plano 5 y 6</p> <p>Orientación 4 y 5</p>

Finalmente se procedió a elaborar el análisis de fase, cuya documentación contiene la información necesaria para llevar a cabo el maquinado; la Tabla 5.5 muestra la información correspondiente al carro principal.

Respecto a la velocidad de corte utilizada para determinar las rpm del husillo, se calculó primero la  $V_m$  que se empleara en el maquinado de el carro principal, cuya materia prima es un bloque de acero con una dureza media de 70 R en fresado, para la operación de desbaste y con una duración del filo esperada en 3 hrs, sin refrigerante, empleando un cortador circular de 8 insertos de carburo medio con un  $\phi$  de 100mm.

Tomando los datos de (Villanueva-Pruneda Sergio, 1983) sustituimos en 5.1.

$$V_m = V_b * K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 \text{ (ec. 5.1)}$$

$$V_b = 70 \text{ m/min } K_1 = 0.9, K_2 = 1, K_3 = 1, K_4 = 1, K_5 = 1$$

$$V_m = 63 \text{ m/min Desbaste } \quad n = \frac{63 \text{ m/min}}{\pi * (.1 \text{ m})} = 200 \text{ rpm (ec. 5.2)}$$

Para Semiacabado

$$V_m = V_b * K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 \text{ (ec. 5.3) } V_b = 70 \text{ m/min}$$

$$K_1 = 0.9, K_2 = 1.3, K_3 = 1, K_4 = 1, K_5 = 1$$

$$V_m = 81.9 \text{ m/min Semiacabado } \quad n = \frac{81.9 \text{ m/min}}{\pi * (.1 \text{ m})} = 261 \text{ rpm (ec.5.4)}$$

Para Afinado

$$V_b = 70 \text{ m/min } K_1 = 0.9, K_2 = 1.5, K_3 = 1, K_4 = 1, K_5 = 1$$

$$V_m = 94.5 \text{ m/min Afinado } \quad n = \frac{94.5 \text{ m/min}}{\pi * (.1 \text{ m})} = 300 \text{ rpm}$$

Una vez que se ha hecho el careado y semiacabado de la superficie de partida se procede al maquinado de las colas de milano usando un cortador de acero al tungsteno con una velocidad media de 100m/min y un  $\phi$  de 40mm.

$$K_1 = 0.4, K_2 = 1, K_3 = 1, K_4 = 1, K_5 = 1$$

$$V_b = 100 \text{ m/min}$$

$$V_m = 40 \text{ m/min Desbaste } \quad n = \frac{40 \text{ m/min}}{\pi * (0.04 \text{ m})} = 318 \text{ rpm}$$

$$K_1 = 0.4, K_2 = 1.3, K_3 = 1, K_4 = 1, K_5 = 1$$

$$V_b = 100 \text{ m/min}$$

$$V_m = 52 \text{ m/min} \text{ Semiacabado} \quad n = \frac{52 \text{ m/min}}{\pi \cdot (0.04 \text{ m})} = 413 \text{ rpm}$$

$$K_1 = 0.4, K_2 = 1.5, K_3 = 1, K_4 = 1, K_5 = 1$$

$$V_b = 100 \text{ m/min}$$

$$V_m = 60 \text{ m/min} \text{ Acabado} \quad n = \frac{60 \text{ m/min}}{\pi \cdot (0.04 \text{ m})} = 477 \text{ rpm}$$

Para el maquinado de los asientos de la guías de la bancada en el carro principal se emplea una fresa pequeña de 4 gavilanes con un  $\emptyset$  de 8 mm y una  $V_b = 24 \text{ m/min}$ .

Tabla 5.5 Análisis de la fase 10 para el carro principal

Fase: 10		Nombre de la Pieza: Carro principal			Numero de la Pieza:			Número de ensamble:													
Ver tabla 5.4		Semiproducto			Peso en KG			Tiempo para la pieza en min			Tiempo para la Maquina										
Dato	Cantidad	Tipo	Dimensiones		Contenido de la transición	Diámetro y/o ancho (mm)	Longitud (mm)	No. de pasadas	Profundidad de corte (mm)	Avance mm/rim	Magnitud del lote	Total		Pedido No. 1							
			Sin Maquinar.	Maquinado								Maquinado	otros								
	1										50	120	30	150	15	5	20				
Contenido de la observación		Transición número									Velocidad de corte (m/min)	Operación	Maquinaria	Accesorios e instrumentos auxiliares	De Corte	De Medicion	De preparación y aceptación	Para la pieza	Para el artículo	Para una pieza	Para un artículo
Careado		100	Careado			100	350	2	3	0.2	200	Desbaste	Fresado ra vertical	Sistema de fijación A	Fresa cilindrica frontal	vermier	10	120	200	\$ 1200	
		A				100	350	3	3	0.2	261	Semiacabado	Fresado ra vertical	Sistema de fijación A	Fresa cilindrica frontal	vermier	5	0	0		
Maquinado de las guías de cola de milano		200	Cambio de cortador			100	350	3	6	0.2	318	Desbaste	Fresado ra vertical	Sistema de fijación A	Fresa cola de milano	vermier	20	120	100		
		A				100	350		3	0.2	413	Semiacabado	Fresado ra vertical	Sistema de fijación A	Fresa cola de milano	vermier	2	0	0		
		B				100	350		3	0.2	477	Acabado	Fresado ra vertical	Sistema de fijación A	Fresa cola de milano	vermier	2	0	0		
Careado Guías inferiores		300	Careado			100	350	2	4	0.2	200	Desbaste	Fresado ra vertical	Sistema de fijación A	Fresa cilindrica frontal	vermier	30	0	100		
		A				100	350	1	3	0.2	261	semiacabado	Fresado ra vertical	Sistema de fijación A	Fresa cilindrica frontal	vermier	5	0	0		

### 5.3 Fabricación del prototipo.

Las ~~¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.~~Figura 5.7,y

Figura 5.8 muestran diversos aspectos del proceso de fabricación de los prototipos de los carros para torno



Figura 5.7 Montaje del Carro principal.



Figura 5.8 Maquinado de las guías en el carro principal.



Figura 5.9 Torno Armado.

## 5.4 Verificaciones dimensionales y geométricas del prototipo

### 5.4.1 Rectitud de la bancada.

El método empleado para medir la rectitud de la bancada se basó en las mediciones de dos puntos de referencia en la bancada, por medio de un nivel de precisión y dos reglas paralelas, como se muestra en la Figura 5.10.



Figura 5.10. Medición de la rectitud por medio de dos reglas paralelas y el nivel de precisión

En las Tabla 5.6 y Tabla 5.7 se muestran los resultados de las mediciones de rectitud empleando reglas paralelas como apoyo del nivel de precisión; en las Figura 5.11 y Figura 5.12 se graficaron dichos resultados.

Tabla 5.6 Resultados de la rectitud de la guía izquierda de la bancada

Punto No.	Guía Izquierda	
	Medición cada 100mm con reglas paralelas (mm) serie 1	Medición cada 100mm con reglas paralelas(mm) serie2
1	0.00	0.00
2	0.012	0.010
3	0.008	0.009
4	0.008	0.009
5	0.012	0.010
6	0.0	0.04
7	0.0	0.0

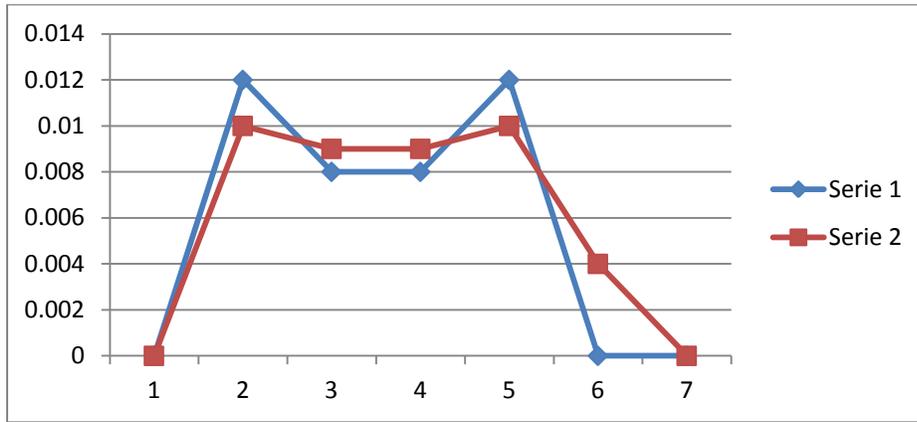


Figura 5.11 Representación grafica de la rectitud de la guía izquierda.

Tabla 5.7: Resultados de rectitud en la guía derecha de la bancada

Punto No.	Guía Derecha	
	Medición cada 100mm con reglas paralelas (mm) serie 1	Medición cada 100mm con reglas paralelas (mm) serie2
1	0.00	0.00
2	0.01216	0.004
3	0.00	0.012
4	0.01216	0.01196
5	0.004	0.004
6	0.0	0.01196
7	0.0	0.0

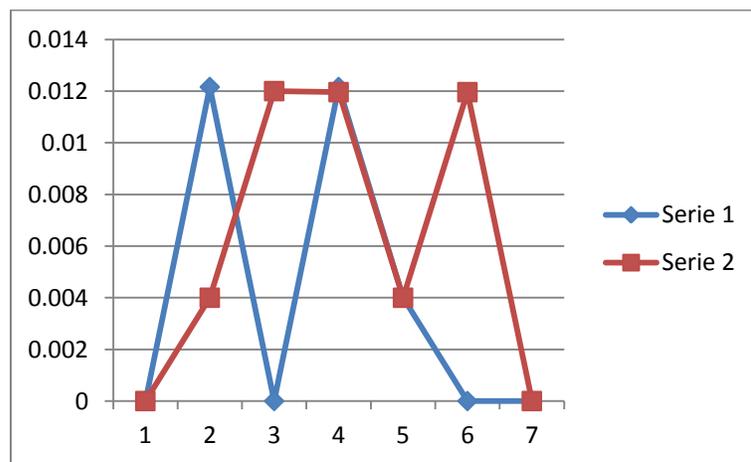


Figura 5.12. Representación grafica de la rectitud de la guía derecha de la bancada.

#### 5.4.2 Planitud de las guías de la bancada.

Primero se verificó que el indicador de caratula esté dentro de las tolerancias especificadas, por medio de el empleo de reglas paralelas de precisión así como un mármol .La verificación del indicador se hizo con el arreglo que se muestra en la Figura 5.13, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 5.8. Se hicieron 3 corridas obteniendo los mismos resultados, por lo que se concluye que nuestro indicador presenta una variación dentro de las tolerancias del sistema.



Figura 5.13. Verificación de paralelismo

Tabla 5.8. Resultados de la verificación del indicador de caratula.

Mediciones cada 10mm	Desviación con respecto al plano en mm
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0.0254
11	0.0254
12	0.0254
13	0
14	0
15	0

El proceso realizado para la verificación de la planitud en las guías, utilizando el montaje que se muestra en la Figura 5.14, se basó en el método para la verificación de la planitud en mármoles (R. Yañez-Valdez, 2009). El resumen de los datos obtenidos se muestra en las Figura 5.15 y Figura 5.16.

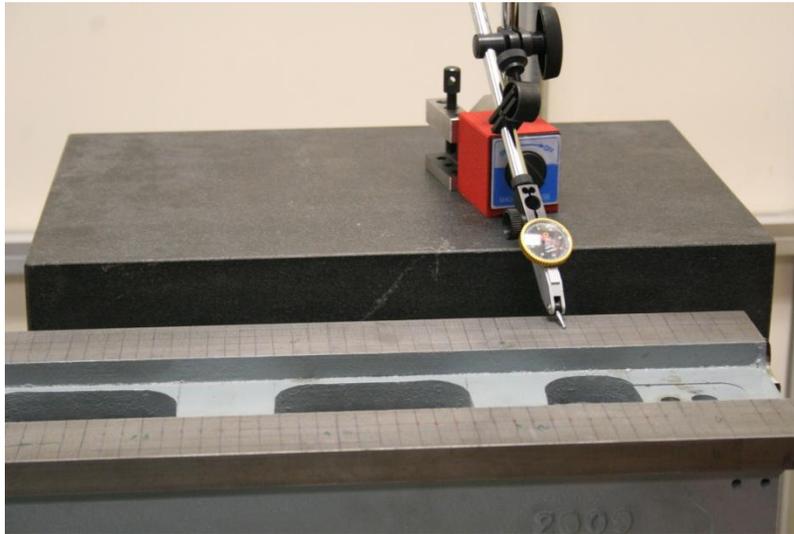


Figura 5.14. Arreglo para la medición de planitud en las guías de la bancada.

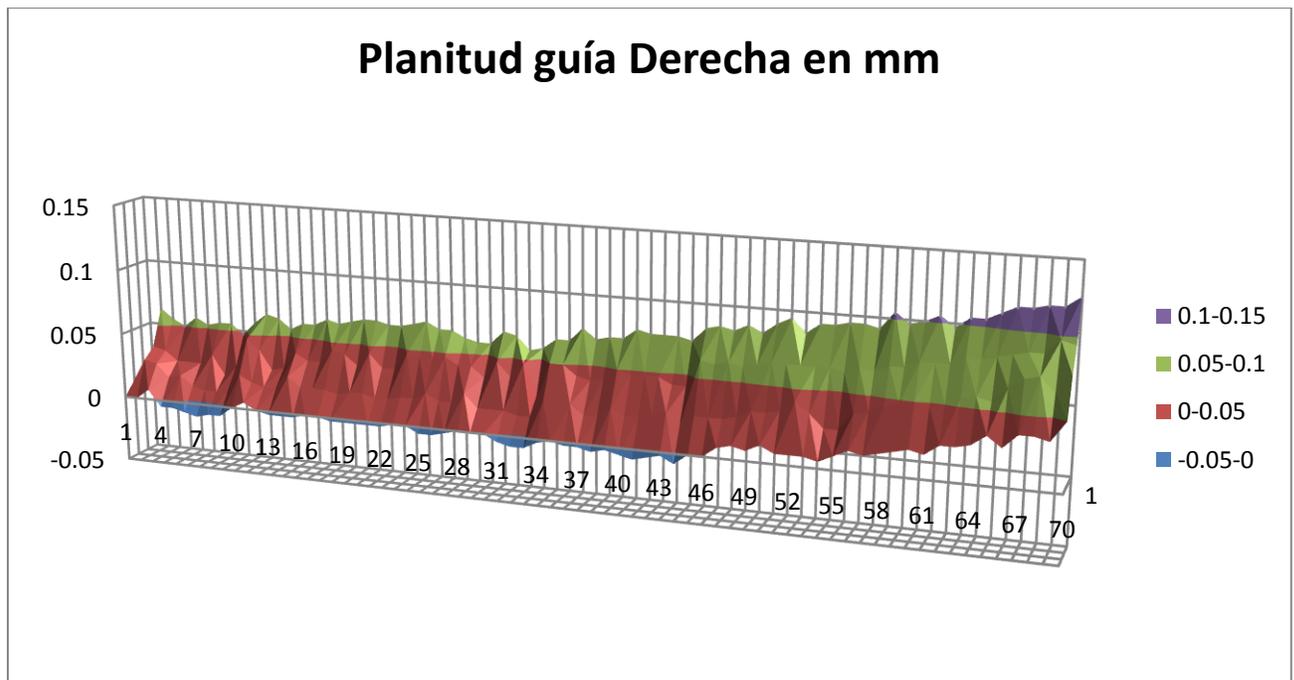


Figura 5.15. Planitud en la guía derecha.

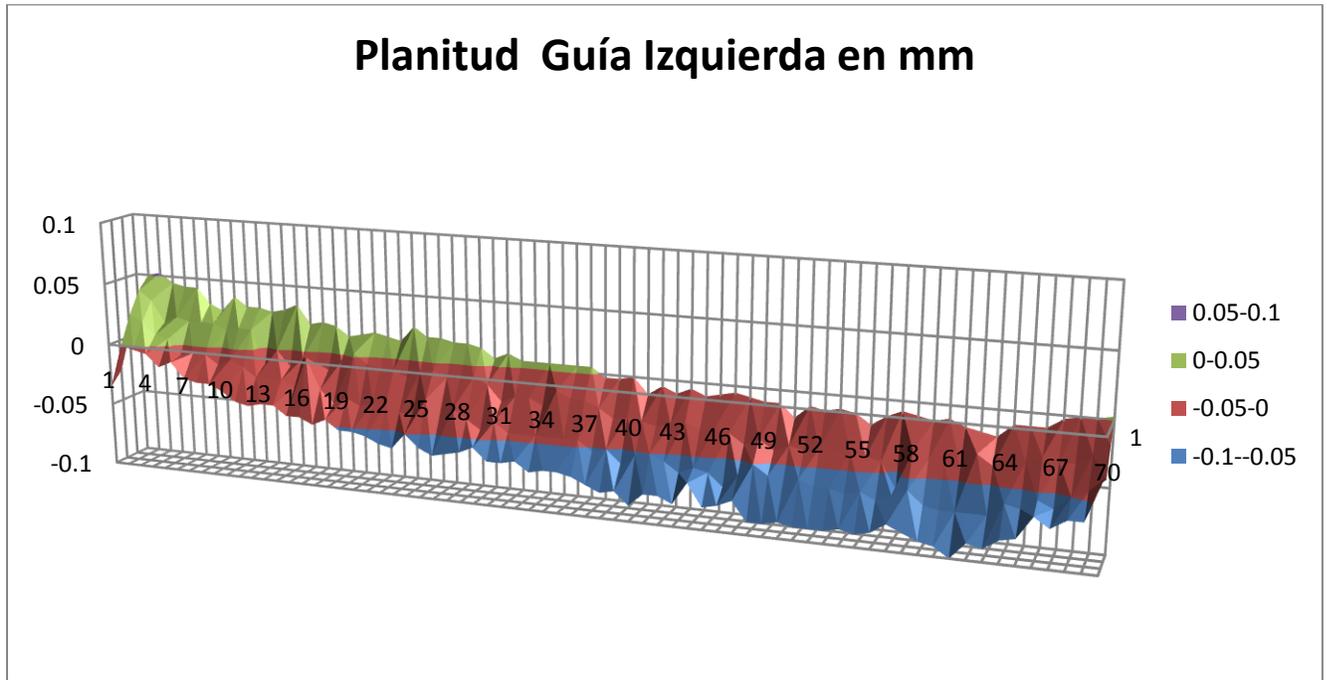


Figura 5.16. Planitud en la guía izquierda.

#### 5.4.3 Paralelismo de los planos que forman la cola de milano en el carro principal.

Se emplearon reglas paralelas para soportar el carro sobre el mármol, como se muestra en la Figura 5.17, de forma tal que la superficie de contacto entre el carro principal y el mármol fuera lo más uniforme posible. Se empleó el nivel como regla proporcionando un desplazamiento paralelo a los planos que forman la cola de milano del carro; las mediciones cada 10mm se muestran en la Tabla 5.9.



Figura 5.17: Arreglo p ara la verificación de paralelismo entre planos que forman la cola de milano

**Tabla 5.9: resultados sobre el paralelismo entre los planos que forman la cola de milano.**

Numero de medición	En la guía 1	En la guía 2
1	0	0.24384
2	0.04826	0.24384
3	0.02794	0.24384
4	0.02794	0.24384
5	0.04064	0.24384
6	0.03556	0.24384
7	0.03556	0.24384
8	0.03048	0.24384
9	0.03048	0.24384
10	0.03302	0.24384
11	0.03302	0.24638
12	0.03302	0.2413
13	0.03048	0.23876
14	0.0254	0.23368
15	0.01778	0.2286
16	0.0127	0.2286
17	0.00508	0.23876
18	-0.01524	0.23622
19	0	0.2413
20	-0.00254	0.2413
21	-0.00508	0.2413
22	-0.00508	0.2413
23	-0.00254	0.22352
24	0.00254	0.2032
25	0.00508	0.1778
26	0.01524	0.1524
27	0.01524	0.127
28	0.03302	0.1016
29	0.04826	0.06604
30	0.05588	0.0508
31	0.0762	0.0381
32	0.0762	0.03048
33	0.0889	0

#### 5.4.4 Paralelismo entre las guías rectas y la cola de milano.

El arreglo empleado para la verificación del paralelismo entre la superficie plana de la guía de cola de milano, con respecto a el plano formado por la superficie superior de las guías rectas que irán en contacto con las guías de la bancada, se muestra en las Figura 5.18 y Figura 5.19



Figura 5.18. Medición del paralelismo entre la superficie de soporte de las guías planas y la guía de cola de milano.

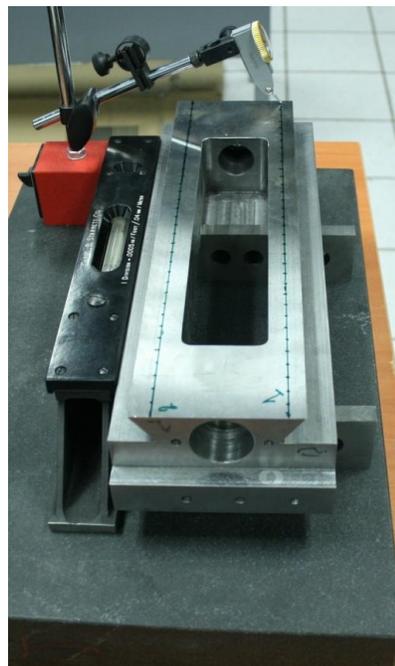


Figura 5.19. Medición del paralelismo entre la superficie de soporte de las guías planas y la guía de cola de milano.

Tabla 5.10. Paralelismo entre las guías rectas y la cola de milano.

mediciones cada 10 mm	Guía 1		
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0.000254	0.000508	0.000254
4	0.000254	0.000762	0.000508
5	0.000508	0.000762	0.000762
6	0.000508	0.000762	0.000762
7	0.000762	0.000762	0.000762
8	0.000762	0.000762	0.000762
9	0.000762	0.000762	0.000762
10	0.000762	0.000762	0.000762
11	0.000762	0.000762	0.000762
12	0.000762	0.000762	0.000762
13	0.000762	0.000762	0.000762
14	0.000762	0.000762	0.000762
15	0.002286	0.001524	0.002286
16	0.002032	0.001778	0.001778
17	0.002032	0.002286	0.002286
18	0.002032	0.002286	0.002286
19	0.002032	0.002286	0.002794
20	0.002794	0.002286	0.002794
21	0.00254	0.002794	0.002794
22	0.002794	0.002794	0.002794
23	0.00254	0.002794	0.002794
24	0.002794	0.002794	0.00381
25	0.002794	0.002794	0.00381
26	0.003048	0.003556	0.00381
27	0.003556	0.00381	0.00381
28	0.003556	0.003556	0.00381
29	0.003556	0.003556	0.00381
30	0.00381	0.00381	0.00381
31	0.00381	0.00381	0.00381
32	0.00381	0.00381	0.00381
33	0.00381	0.00381	0.00381
34	0.00381	0.00381	0.00381

Tabla 5.11 Paralelismo entre las guías rectas y la cola de milano.

mediciones cada 10 mm	Guía 2		
1	0	0	0
2	0.000762	0.000254	0.000762
3	0.000762	0.000254	0.000762
4	0.000762	0.000508	0.000762
5	0.000762	0.000762	0.000762
6	0.000762	0.000762	0.000762
7	0.000762	0.000762	0.000762
8	0.000762	0.000762	0.000762
9	0.001016	0.001016	0.001016
10	0.001016	0.001016	0.001016
11	0.001016	0.001016	0.001016
12	0.001016	0.001016	0.001016
13	0.001016	0.001016	0.001016
14	0.00127	0.00127	0.00127
15	0.00127	0.001778	0.00127
16	0.001524	0.001524	0.001524
17	0.001524	0.001778	0.001524
18	0.001778	0.001778	0.001778
19	0.001778	0.001778	0.001778
20	0.002032	0.001778	0.002032
21	0.002794	0.00254	0.002794
22	0.002794	0.002794	0.002794
23	0.002794	0.002794	0.002794
24	0.002794	0.002794	0.002794
25	0.002794	0.002794	0.002794
26	0.002794	0.002794	0.002794
27	0.002794	0.002794	0.002794
28	0.002794	0.002794	0.002794
29	0.002794	0.002794	0.002794
30	0.002794	0.002794	0.002794
31	0.002794	0.00254	0.002794
32	0.002794	0.002794	0.002794
33	0.002794	0.002794	0.002794
34	0.002794	0.002794	0.002794

Se empleo el arreglo mostrado en las Figura 5.18 Figura 5.19 , para la verificación del paralelismo entre la superficie plana de la guía de cola de milano con respecto a el plano formado por la superficie superior de las guías rectas que irán en contacto con las guías de la bancada. Como se muestra en

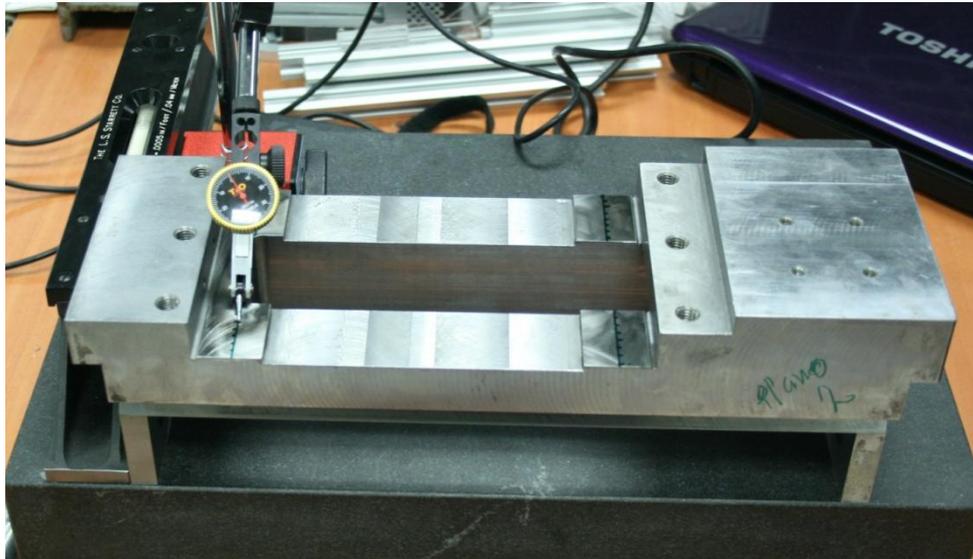


Figura 5.20. Medición del paralelismo entre la superficie de soporte de las guías planas y la guía de cola de milano tomando como referencia la base plana de la cola de milano.

Tabla 5.12 Paralelismo entre el plano formado por la superficie de cola de milano y las guías rectas.

Mediciones			
cada	Guía 1		
10mm			
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0.000508	0	0
4	0.000508	0.000762	0.000762
5	0.000508	0.000762	0.000762
6	0.00127	0.001016	0.001016
7	0.00127	0.000508	0.00127
8	0	0	0
9	0	0.000762	0
10	0.000762	0.001778	0.000762
11	0.001778	0.001778	0.001778
12	0.001778	0.001778	0.001778
13	0.001778	0.002032	0.001778
14	0.001778	0.002032	0.001778
15	0.001778	0.002032	0.001778
16	0.002032	0.002032	0.002032

Tabla 5.13 Paralelismo entre el plano formado por la superficie de cola de milano y las guías rectas.

Mediciones cada 10mm	Guía 2		
	1	0	0
2	0.000762	0.000508	0.000508
3	0.000762	0.000254	0.000762
4	0.00127	0.000508	0.001778
5	0.00127	0.000762	0.001778
6	0.001778	0.001524	0.002286
7	0.001778	0.001524	0.002286
8	0.001778	0.001778	0.001524
9	0.001778	0.001778	0.001778
10	0.00254	0.00254	0.00254
11	0.000762	0.000762	0.000762
12	0.001778	0.000762	0.002286
13	0.001778	0.000762	0.002286
14	0.00254	0.002794	0.003048
15	0.00254	0.00254	0.00381
16	0.00381	0.00381	0.00381

5.4.5 Verificación del paralelismo en los planos inclinados de la cola de milano empleando 2 pernos de verificación y vernier.

El arreglo empleando en la verificación se presenta en la figura y los resultados registran la distancia entre los planos descartando el diámetro de los pernos, que se muestran en la Figura 5.21. Medición entre puntos con pernos de medición., los resultados de esta verificación se muestran en la Tabla 5.14



Figura 5.21. Medición entre puntos con pernos de medición.

Tabla 5.14. Distancia entre planos de la cola de milano medidos con dos pernos

<b>mediciones cada 10mm</b>	<b>Distancia entre los planos de la cola de milano</b>		
1	81.62	81.6	81.62
2	81.63	81.6	81.6
3	81.62	81.62	81.62
4	81.65	81.61	81.61
5	81.62	81.61	81.61
6	81.6	81.61	81.61
7	81.61	81.62	81.62
8	81.65	81.65	81.63
9	81.61	81.61	81.62
10	81.62	81.62	81.62
11	81.6	81.61	81.61
12	81.62	81.62	81.62
13	81.58	81.58	81.58
14	81.59	81.59	81.59
15	81.6	81.6	81.6
16	81.59	81.59	81.59
17	81.6	81.6	81.6
18	81.6	81.6	81.6
19	81.61	81.61	81.61
20	81.61	81.61	81.61
21	81.6	81.6	81.6
22	81.6	81.6	81.6
23	81.59	81.59	81.59
24	81.59	81.59	81.59
25	81.59	81.59	81.59
26	81.58	81.58	81.58
27	81.59	81.59	81.59
28	81.59	81.59	81.59
29	81.6	81.6	81.59
30	81.59	81.59	81.59
31	81.57	81.57	81.68
32	81.58	81.58	81.58
33	81.58	81.58	81.59
34	81.58	81.58	81.58

5.4.6 Verificación del paralelismo en los planos inclinados de la cola de milano empleando 2 pernos de verificación y vernier.

El arreglo empleando en la verificación se presenta en la figura y los resultados registran la distancia entre los planos descartando el diámetro de los pernos, que se muestran en la Figura 5.21. Medición entre puntos con pernos de medición., el resultado de dicha medición se muestra en la Tabla 5.15.

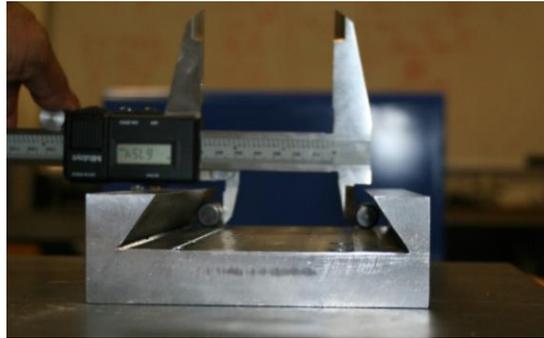
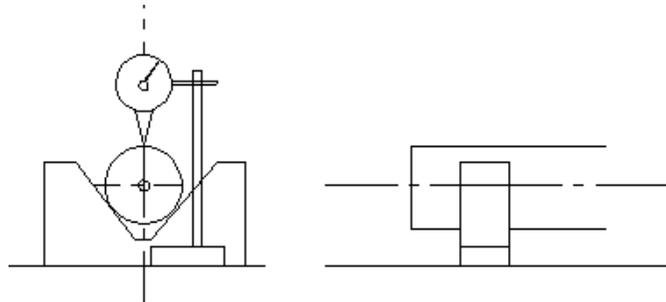


Figura 5.22. Medición entre puntos con pernos de medición.

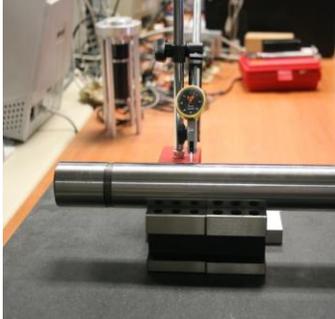
Tabla 5.15. Mediciones de paralelismo de las guías internas.

Mediciones cada 10mm	Medición más el diámetro de los pernos		
1	92.82	92.82	92.81
2	92.77	92.8	92.79
3	92.79	92.78	92.79
4	92.79	92.79	92.79
5	92.8	92.78	92.78
6	92.77	92.78	92.78
7	92.77	92.77	92.77
8	92.76	92.77	92.76
9	92.75	92.75	92.76
10	92.74	92.76	92.75
11	92.72	92.72	92.72
12	92.75	92.72	92.72
13	92.72	92.72	92.72
14	92.72	92.71	92.71
15	92.72	92.7	92.7
16	92.71	92.7	92.7
17	92.71	92.7	92.7
18	92.67	92.7	92.7
19	92.71	92.71	92.71
20	92.71	92.72	92.72

Primero se verifico un perno cilíndrico el cual fue utilizado como mandril de verificación, para tener una referencia comprobable se empleo un mármol de verificación , los soportes en v de precisión y para asegurar el paralelismo entre los bloques y el indicador de caratula se emplea una regla de precisión como se muestra en el esquema de la Figura 5.23 y en las Figura 5.24 y Figura 5.25, las posibles deformaciones en el mandril de verificación se muestran en Figura 5.26.



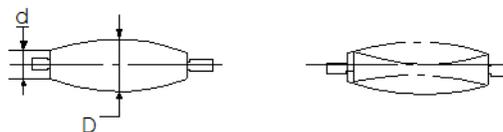
**Figura 5.23: Arreglo para la verificación de cilindridad**



**Figura 5.24: Vista frontal del arreglo que se empleo para realizar las mediciones de cilindridad**



**Figura 5.25: Vista lateral del arreglo**



**Figura 5.26: Esquema de las posibles deformaciones en cilindridad.**

**Tabla 5.16 Resultados de las mediciones de cilindridad en el mandril de verificación**

<b>Medición de Cilindridad en mandril</b>				
	0°	90°	180°	270°
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0.0508
3	0.1778	0.1778	0.1778	0.0508
4	0.1778	0.2032	0.1778	0.1778
5	0.2032	0.2032	0.2032	0.2286
6	0.2286	0.3302	0.2032	0.2794
7	0.2794	0.381	0.2794	0.381
8	0.381	0.4064	0.381	0.4064
9	0.381	0.4318	0.381	0.4064
10	0.4064	0.4318	0.4064	0.508
11	0.4826	0.4318	0.4826	0.508
12	0.5334	0.5334	0.508	0.508
13	0.508	0.5334	0.508	0.5334
14	0.635	0.5334	0.635	0.6096
15	0.5842	0.6096	0.635	0.635
16	1.016	1.016	1.016	1.0668
17	1.143	1.016	1.143	1.016

Como podemos concluir de las mediciones realizadas el mandril que se empleara en la verificación presenta una pequeña conicidad pero no una distorsión del eje central lo cual nos facilita la determinación cualquier desviación del chuck.

Una vez que los elementos a ser empleados en las verificaciones geométricas han sido verificados, procedemos a realizar las mediciones sobre los elementos de la máquina herramienta, comenzando por el carro principal.

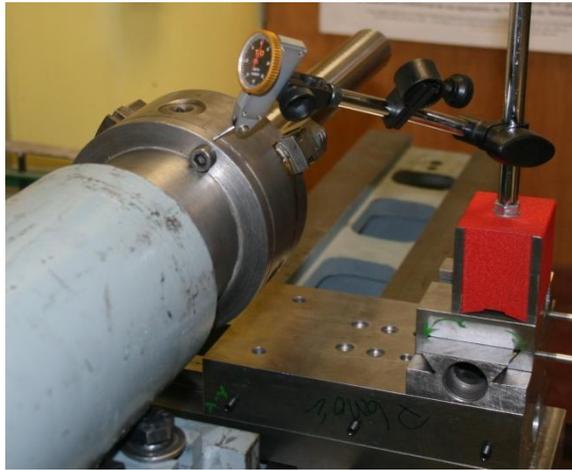


Figura 5.27. Verificación del plato

Tabla 5.17. Resultados de la verificación del plato del chuck.

Mediciones cada 10mm	0°	90°	180°	270°
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0.0508
3	0.1778	0.1778	0.1778	0.0508
4	0.1778	0.2032	0.1778	0.1778
5	0.2032	0.2032	0.2032	0.2286
6	0.2286	0.3302	0.2032	0.2794
7	0.2794	0.381	0.2794	0.381
8	0.381	0.4064	0.381	0.4064
9	0.381	0.4318	0.381	0.4064
10	0.4064	0.4318	0.4064	0.508
11	0.4826	0.4318	0.4826	0.508
12	0.5334	0.5334	0.508	0.508
13	0.508	0.5334	0.508	0.5334
14	0.635	0.5334	0.635	0.6096
15	0.5842	0.6096	0.635	0.635
16	1.016	1.016	1.016	1.0668
17	1.143	1.016	1.143	1.016

#### 5.4.7 Desviación del chuck con respecto a los carros

Empleando un mandril de verificación se han realizado las mediciones cada 10mm de la desviación con respecto a los carros del torno, la cual se encuentra expresada en las cartas de verificación en la Tabla 4.7 el arreglo empleado para dicha verificación se muestra en la Figura 5.28, los resultados se muestran en la



Figura 5.28. Verificación de la desviación del chuck

Tabla 5.18 resultados de la verificación de desplazamiento verdadero en el chuck con respecto a los carros del torno

Verificación de la desviación verdadera del chuck		
<b>Punto más cercano al chuck</b>	300mm de distancia del chuck	
<b>0.01mm</b>	0.03mm	Desviación permitida
<b>.06mm</b>	2mm	Desviación obtenida

## 6 Análisis y discusión de resultados.

### 6.1 Diseño.

El diseño realizado que se detalla en esta tesis corresponde al carro principal y el del resto de los carros se incluyen en el Anexo A; se hizo considerando que el material a emplear en su fabricación sería acero AISI 1020, cuyas propiedades mecánicas que se muestran en la Tabla 5.1, se compararon con los requerimientos del destino de uso del carro principal del torno. Al usar dicho material en lugar de fundición de hierro se facilitó la fabricación del carro, permitiendo aplicar los procesos de fabricación y verificación del mismo que fueron el objetivo principal de esta tesis.

Los resultados del cálculo de esfuerzos y deformaciones que se presentan en el inciso 5.1.1, permiten establecer la geometría y dimensionamiento del carro, de tal forma que además de ser funcional resista las deformaciones a las que estará sujeto bajo las condiciones de trabajo. La metodología seguida en dicho cálculo, que se basó en el uso de software comercial aplicando el método del elemento finito, y permitió mostrar resultados correspondientes a un análisis de campo, que es mucho más útil que un análisis de punto que era el utilizado anteriormente como análisis experimental de esfuerzos y deformaciones; los resultados de campo permitieron evaluar, el estado de esfuerzos y deformaciones de cada elemento en que fue dividido el cuerpo, y representar dicho estado como se muestra en las Figura 5.2, y Figura 5.3, donde además se muestran la ubicación de las regiones con desplazamientos máximos y la magnitud de su valor resultante.

Al comparar los datos de desplazamiento calculados contra los valores admisibles para ello, según se muestra en la Tabla 5.2. *Deflexión admisible vs calculada.*, se hace posible evaluar el desempeño del elemento en conformidad con los requerimientos del criterio de diseño por deformación máxima admisible establecido en (Shlesinger, 1945).

A partir también de las condiciones de destino de uso, como lo es que el torno se aplicará en fabricaciones con calidad ISO 7 según se muestra en la Tabla 3.4, se establecieron las tolerancias geométricas y dimensionales de los elementos y de ensamble del diseño que se indican en las Figura 5.4, Figura 5.5, y Figura 5.6, y que representaron el reto de condiciones a cumplir en el proceso de manufactura.

## 6.2 Manufactura.

Las consideraciones de maquinado y acabado para el análisis de fabricación, que se muestran en la Tabla 5.3, permitieron definir la superficie de partida y la de referencia en el carro principal, así como los puntos de apoyo y sujeción, de tal forma que el proceso de fabricación fuera el más adecuado a seguir.

El análisis para la fabricación del carro, cuyo resultado se muestra en la Tabla 5.4, permitió hacer la planeación de cada fase correspondiente a trabajo en una misma máquina sin desmontar la pieza, siguiendo el un orden lógico, así como las herramientas de corte, los elementos de sujeción y de control, cuya aplicación fue la base para elaborar el la documentación correspondiente al análisis de fase.

El análisis de fase específico que se detalla en esta tesis corresponde a la fase 10 del proceso de fabricación del carro principal, conteniendo básicamente velocidad , avance y profundidad de corte de acuerdo a la herramienta y a la potencia de la máquina disponible que se empleo, por ser representativa de los talleres de metalmecánica de la región de Querétaro. Para el proceso de fabricación del prototipo se utilizaron positivos de sujeción y herramientas de corte de uso universal.

Los resultados de dicho análisis se incluyen en la Tabla 5.5, y su aplicación práctica fue satisfactoria en cuanto al proceso de manufactura. Adicionalmente y en forma semejante se trabajo en el resto de los carros, los cuales también fueron fabricados y se muestra en la Figura 5.8.

## 6.3 Verificación.

El análisis de resultados correspondientes a la verificación geométrica y dimensional de los carros fabricados, y de la bancada sobre la cual se ensamblaron, tuvo el propósito de evaluar si las especificaciones normativas aplicables se cumplieron o no, a fin de dictaminar si la capacidad de fabricación de los proveedores locales, semejantes al contratado para realizar este prototipo, permite el desarrollo de máquinas-herramienta en el estado de Querétaro.

En cuanto a la verificación de la rectitud de las guías de la bancada, cuyos resultados se muestran en las Tabla 5.6 y Tabla 5.7, y se grafican en las Figura 5.11, Figura 5.12, se encontró una desviación de hasta 0.012 mm en las guías, con respecto a una línea recta trazada entre sus extremos; comparando este valor con el admisible de 0.02mm por cada 1000mm, que se establece en las normas aplicables (International Standard Organization, 1989), se determinó que la tolerancia de rectitud se encuentra dentro de los límites establecidos.

En cuanto a la verificación de la planitud de la bancada, cuyos resultados se muestran en forma de grafica en las Figura 5.15 y Figura 5.16, se encontró una desviación de hasta 0.18mm con respecto al plano ideal que pasa por sus extremos de lo que se concluye que las tolerancias geométricas de las guías de la bancada se encuentran fuera de los límites establecidos en los criterios de verificación.

De la verificación de paralelismo entre los planos que forman la cola de milano del carro principal, cuyos resultados se muestran en la Tabla 5.9, Tabla 5.10, Tabla 5.11, Tabla 5.12, Tabla 5.13 y Tabla 5.14, de la tabla 5.9 puede verse que la desviación máxima en la cara 1 con respecto al plano de referencia es de 0.0889 mm, con lo que se encuentra dentro de la tolerancia requerida de 0.1mm especificada en (International Standard Organization, 1989), mientras que la desviación máxima presentada en la cara 2 es de 0.24384mm, quedando fuera de las tolerancias de paralelismo con un poco más del doble del valor admisible.

A partir de la verificación de paralelismo de las guías de cola de milano del carro auxiliar se han obtenido los resultados que se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, dichos resultados muestran que se ha cumplido con las tolerancias establecidas en el dibujo de despiece que especifica un máximo de 0.1mm en su longitud total.

La verificación del desplazamiento verdadero del plato de montaje del chuck con respecto al desplazamiento en el husillo principal se muestra en la Figura 5.27. Verificación del platoy cuyos resultados están expresados en la Tabla 5.17, muestran que el plato de montaje del chuck está dentro de los límites de alineación expresados en la Tabla 4.7

La verificación del desplazamiento verdadero del chuck con respecto al desplazamiento de los carros del torno como se muestra en la Figura 5.28 y cuyos resultados están expresados en la Tabla 5.18, y considerando que el montaje del plato se encuentra dentro de especificaciones determina que el chuck se encuentra fuera de especificaciones.

## 7 Conclusiones y Recomendaciones.

### 7.1 Conclusiones.

#### 7.1.1 Diseño.

Con La metodología de diseño empleada en el presente trabajo se diseño una MHR dentro de las instalaciones del CICATA IPN Querétaro, cumpliendo las recomendaciones expresadas en las normas (Internationa Standard Organization, 1996) y (International Standard Organization, 2006), a través de la simulación realizada se demostró que el criterio de deformación establecido en las normas de aceptación de MH se ha cumplido de forma satisfactoria, validando esta aseveración con los resultados presentados en la Tabla 5.2, las cual presenta una clara ventaja contra la simulación puntal; al ser el resultado más representativo de las cargas a las cuales se encuentra sujeto el carro principal, en un ciclo de maquinado convencional.

#### 7.1.2 Manufactura.

La definición de la superficie de partida y la de referencia en el carro principal, así como los puntos de apoyo y sujeción, si bien han sido una parte importante en la definición de la sucesión de las superficies a maquinar, las restricciones expresadas en las Tabla 4.3,Tabla 4.4 y Tabla 4.5 se han considerando en la elaboración del análisis de fabricación del carro principal, permitiendo establecer una secuencia en las operaciones lógica y coherente con los recursos disponibles en el taller donde se llevo a cabo el prototipo.

Si bien los resultados de dicho análisis se incluidos en la Tabla 5.5 han sido satisfactorios como procedimiento de manufactura, los resultados obtenidos en este caso los prototipos de los carros para torno, han presentado algunas carencias en cuanto a las tolerancias de fabricación, razón por la cual se ha de realizar un re-trabajo de las mismas, con el fin de obtener elementos de la calidad deseada, para que el desempeño esperado de la máquina se el esperado de ISO 7.

### 7.1.3 Verificación.

De acuerdo con los resultados de verificación geométrica y dimensional de los carros, y de la bancada fabricada, demostró que la aplicación de las especificaciones normativas se cumplieron en la mayoría de los casos; no obstante los resultados obtenidos en las tolerancias geométricas y dimensionales, en algunos casos en algunos casos donde no se cumplieron, las tolerancias geométricas y dimensionales, con la aplicación de la metodología desarrollada en el presente trabajo se espera que la capacidad de fabricación de los proveedores locales mejore lo suficiente para la fabricación de MH en el estado de Querétaro.

Se ha propuesto una metodología basada en las normas vigentes, a partir de la cual se puede determinar las tolerancias dimensional y geométrica de los elementos estructurales de las máquinas-herramientas ordinarias y reconfigurables. La metodología se basa en la documentación existente sobre máquinas-herramienta convencionales, no obstante el trabajo de verificación realizado se puede aplicar de manera indiferente a las máquinas-herramienta ordinarias o reconfigurables.

No obstante que la metodología para la verificación es la misma, las tolerancias en las MHR se encuentran especificadas en (Orban, 2008) y son diferentes a las que se encuentran para las MH como las señaladas en (International Standard Organization, 2006).

## 7.2 Recomendaciones

### 7.2.1 Diseño.

Se propone el empleo de guías postizas en la bancada con el propósito de simplificar el proceso de fabricación, para mejorar las condiciones de desplazamiento de los carros del torno-fresador.

Se requiere de la realización de un análisis más detallado, tanto en el área de materiales como en el diseño de los elementos estructurales, pues aun se debe determinar el comportamiento del torno-fresador, en la posición de fresadora y con un sistema de control numérico computarizado que aun está en desarrollo.

### 7.2.2 Manufactura.

Posterior a la manufactura del prototipo y su verificación, se encontró que algunos de los elementos de la máquina herramienta no cumplían con las especificaciones para las tolerancias geométricas y de acabado superficial, por lo cual son recomendables los siguientes puntos para mejorar el Torno-fresador elaborado en CICATA IPN Querétaro:

- Para garantizar una mejor exactitud en las dimensiones en el prototipo construido, se recomienda el empleo de dispositivos de sujeción especialmente diseñados para el maquinado de cada uno de sus componentes.
- Para asegurar de manera más confiable las tolerancias de posición relativa entre superficies, utilizar montaje de herramientas para corte simultaneo de dichas superficies.
- Para el ajuste en la planitud de las superficies de los elementos que componen el prototipo se recomienda el empleo de rasquetas, posterior a las verificaciones de rectitud y planitud una vez identificados los puntos altos.

Las recomendaciones anteriores pueden extrapolarse para su uso en la mayoría de las MH.

### 7.2.3 Verificación

Con el objetivo de mejorar la certidumbre de las mediciones realizadas en la verificación de las MHR, será necesario del desarrollo y calibración de plantillas y patrones de verificación para paralelismo y perpendicularidad en las guías de los elementos estructurales, con trazabilidad a laboratorios de metrología certificados.

## 8 Bibliografía

**A.Chevalier J.Bohan** Tecnología del Diseño y Fabricación de Piezas Metálicas [Libro]. - México : Limusa, 2010.

**Abele E Woörn A, Stroh C, Elzenheimer J** Multimachining technology integration in RMS [Publicación periódica] // Proceedings of the. - 2005.

**Abele E Worn A, Stroh C, Elzenheimer J** Multimachining technology integration in RMS [Conferencia] // 3rd CIRP Intl.Conference on RMS. - Ann Arbor, MI : [s.n.], 2005.

**ADIWEB COMAIMEX** Rectificaciones y ajustes REBAMAH S.A de C.V. [En línea] // www.rectificacionesmaya.com.mx. - 2011. - 26 de agosto de 2011. - www.rectificacionemaya.com.mx.

**al. V. Malhotra et** Excellent Techniques of Manufacturing Systems: RMS and FMS [Publicación periódica]. - Faridabad, India : International Journal of Engineering Science and Technology, 2010. - 3 : Vol. 2.

**Andrew Yeh Chris Nee Zhen Jun Tao,A. Senthil kumar** Introduction to fixture design [Libro]. - Singapor : Tjuan Kwan Wei, 2004.

**Arai H. Makino and T.** New developments in assembly systems [Publicación periódica] // Annals of the CIRP. - 1994. - págs. 43 (2): 501-522.

**Arriaga-Segundo Leobardo** Las Máquinas Herramienta Con Control Numérico [Libro]. - México,DF : Tresguerra, 1999.

**ASCAMM centro tecnológico** La Industria metal mecanica en el siglo XXI [Informe]. - Barcelona : ASCAMM, 2008.

**Association of German Engineers** Statistical Testing of the Operational and Positional Accuracy of Machine Tools; Basis [Informe]. - Germany : German Society for Qualit, 1977.

**B Prasad** Concurrent engineering fundamentals: integrated and process organization [Libro]. - Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 1996.

**Bo Xing a WenJing GaobDr. Nkgatho S. Tlalea, Prof. Glen Brightc** Design and Application of Reconfigurable Manufacturing Systems in Agile Mass Customization Manufacturing Environment\* [Publicación periódica] // International Conference on Industrial Engineering and Systems Management. - 2007.

**Brid Juan carlos moreno** Economic Development and Industrial Performance in Mexico post-NAFTA [Libro]. - Ciudad de México : Taller Nacional sobre "Migración interna y desarrollo en México: , 2007.

**Bright G Xing B, Craig S** Modular machine design for [Conferencia] // 3rd CIRP Conference on RMS. - Ann Arbor, MI : [s.n.], 2005.

**Bustos Ricardo Espinoza** Optimización del diseño de bancada para máquina-herramienta de aplicación específica [Informe]. - Queretaro : CICATA QRO, 2008.

**C. Ling S.-Y. Sung, T. M. L. Olsen, and D. Yip-Hoi.** System level process planning for RMS. [Publicación periódica]. - Michigan : ERC/RMS, 1999. - 24.

**Casillas A.L** Máquinas Calculos de taller [Libro]. - España : Máquinas, 1981.

**Cecil M. D. and Sutherland, W. J** Modeling the Effects of Component Level Geometric and Form Deviations on Machine Tool Slide Way Errors [Informe]. - [s.l.] : Proceedings of NAMRC XXVI Conference, 1998.

**Chattopadhyay Somnath** STUDY OF ACCURACY OF CNC MACHINE TOOLS [Informe]. - Pennsylvania : Pennsylvania State University, 2008.

**Chen I.M** Theory and Application of Modular Reconfigurable Robot Systems [Informe]. - California : California Institute of Technology, 1994.

**Doubbel H.** Handbook of mechanical engineering [Libro]. - Berlin Heidelberg New York : Springer, 1994.

**Doyle Lawrence** materiales y procesos de manufactura para ingenieros [Libro]. - Mexico, Df : Prentice Hall, 1988.

**Drozda T J, et al** Machine Tool Remanufacturing [Publicación periódica] // Manufacturing Engineer Vol 92, No 2. - Feb,1984. - págs. 88-98.

**Eberhard Abele Arno Worn** Mechanical module interfaces for reconfigurable machine tools [Publicación periódica] // Res. Devel.. - 2007. - págs. 1:421–428.

**ElMaraghy Hoda A.** Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigm [Publicación periódica]. - [s.l.] : Springer Science+Business Media, 2006. - 17. - DOI 10.1007/s10696-006-9028-7.

**Equipo Editorial de Metalmecánica Internacional** Máquinas-herramienta en la industria metalmecánica mexicana [En línea] // [www.metalmecanica.com](http://www.metalmecanica.com). - Octubre de 2009. - 16 de Noviembre de 2010. - [http://www.metalmecanica.com/mm/secciones/MM/ES/MAIN/IN/INFORMES\\_ESPECIALES/doc\\_72845\\_HTML.html?idDocumento=72845](http://www.metalmecanica.com/mm/secciones/MM/ES/MAIN/IN/INFORMES_ESPECIALES/doc_72845_HTML.html?idDocumento=72845).

**Erickson William C.** Computer Simulation of Solidification [Informe]. - Los Alamos, New Mexico : Twenty Fifth sagamore armor materials, 1978.

**Erik Oberg et al** Machinery's Handbook 28th Edition [Libro]. - New York : Industrial Press, 2008.

**Fabrica de Máquinas y Accesorios S.A de C.V** Fabricación y reconstrucción de máquinas herramienta, [En línea] // [www.famasa.com](http://www.famasa.com). - 2009. - 2011. - [www.famasa.com](http://www.famasa.com).

**Fei Y Wan J, Xia P et al** Docking analysis of two neighboring modules in a self-reconfigurable modular machine. [Publicación periódica] // Int J Adv Manuf Technol 32. - 2005. - págs. 32:985–989.

**Foro de Inversiones y Cooperación Empresarial Hispano-Mexicano** Sector máquina-herramienta [Informe]. - Monterrey : ICEX, 2002.

**G.Hoffman Edward** Jigs and Fixture design [Libro]. - Cliftonpark, NY : Thomson , 2004.

**Grover Mikell P.** Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas [Libro]. - Naucalpan de Juárez, Edo de México : Prentice-Hall Hispanoamerica , 1997.

**H. Appold K. Feiler, A.Reinhard, P. Schmidt** Tecnología de los metales [Libro]. - España : Reverté, 2005. - ISBN:84-291-6014-0.

**Hale Layton Carter** Principles and Techniques for Designing Precision Machines [Libro]. - Springfield, VA 22161 : National Technical Information Service, 1999.

**HarperCollins Publishers** Collins English Dictionary – Complete and Unabridged [Libro]. - [s.l.] : HarperCollins , 2003.

**Hernández Eduardo David Carro** DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE YOUNG DINÁMICO EN ELEMENTOS DE GEOMETRÍA IRREGULAR Y SU INFLUENCIA EN LAS VIBRACIONES DE UNA BANCADA PARA MAQUINADO DE ALTA VELOCIDAD. [Informe]. - Querétaro : CICATA QRO, 2010.

**Hidenori Shinno Yoshimi Ito** A decision making methodology for Basic Layout Design Of Machine Tools [Publicación periódica]. - Japan : JSME international Journal , 1991. - 34 : Vol. III.

**Hoffman Edward G.** Jig and Fixture design [Libro]. - Clifton Park, NY : Thomson, 2004.

**Holek Ricardo Santamaría** Consideraciones prácticas y económicas del Alineamiento de Maquinaria [Informe]. - Querétaro, Qro : Tecnología Avanzada para Mantenimiento S.A. de C.V., 2003.

**Hua Yana Aihua Wanga,\* , Zhaoting Xionga,b, Kaidong Xua, Zaowen Huang** Microstructure and wear resistance of composite layers on a ductile iron with [Libro]. - PR China : ELSEVIER, 2010.

**Instituto Politecnico Nacional** Creación del centro Nacional de Investigacion en Máquinas-Herramienta [Publicación periódica] // Gaceta Politecnica . - 1979. - pág. 24: 7 .

**Internationa Standar Organization** Test code for machine tools - Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no load or finishing conditions [Informe]. - [s.l.] : ISO, 1996.

**International Standar Organization** Acceptance conditions for general purpose parallel lathes [Informe]. - [s.l.] : ISO, 1989.

**International Standard Organization** Test code for machine tools - Part 6: Determination of positioning accuracy on body and face diagonals [Informe]. - [s.l.] : ISO, 202.

**Irem Y. Tumer R.S. Srinivasan and Kristin L. Wood** Investigation of Characteristics Measures for the Analisis and Synthesis of precision machined surfaces [Publicación periódica] // The journal of Manufacturing Systems. - 1995. - pág. 14: 5.

**ISO** Test code for machine tools - Part 6: Determination of positioning accuracy on body and face diagonals [Publicación periódica]. - 2002.

**ISO** Test code for machine tools -- Part 2: Determination of accuracy and repeatability of positioning numerically controlled axes [Informe]. - [s.l.] : ISO, 2006.

**Ito H. Shinno and Y.** Structural description of machine tools,Description method and some application. [Publicación periódica] // JSME. - 1981. - págs. 24(187):251-258.

**J.Saha M. Kannan** A feature-based generic setup planning for configuration synthesis of reconfigurable machine tools [Publicación periódica] // Int J Adv Manuf Technol. - London : Springer-Verlag, 2009. - Vol. 43. - págs. 43:994–1009. - DOI 10.1007/s00170-008-1779-8.

**Japan Machine Tool Builders' Association** Machine tools -- Running tests and rigidity tests -- General requirements [Informe]. - Japan : Japan Machine Tool Builders' Association, 1993.

**Japanese Standar Association** Test conditions for machining centres - Part 2: Geometric tests for machines with vertical spindle or universal heads with vertical primary rotary axis [Informe]. - japan : JSA, 2002.

**Japanese Standar Association** Test code for performance and accuracy of machining centers (vertical type) [Informe]. - Japan : JSA, 1985.

**Ji Hung Jung Jin Phil Choi,Sang Jo Lee** Machine Accuracy Enhancement by compensating [Publicación periódica] // Journals of Materials Processing Technology . - [s.l.] : Elsevier , 2006.

**Jorge I. Gómez G Javier Romero** UNA MIRADA A LAS NORMAS SOBRE DIMENSIONADO Y geometricas [Informe]. - Medellin, Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2007.

**Juan Esparza-Lopez Rafael Colás-Ortiz** Propiedades y características de una aleación de aluminio [Publicación periódica]. - Coahuila : [s.n.], 2005.

**K Ulrich** The role of product architecture in the manufacturing [Publicación periódica] // Res Policy 24(3). - 1995. - págs. 24(3):419–440.

**Kakino Y. Ihara Y., and Shinohara A.** Accuracy Inspection of NC Machine Tools by Double Ball Bar Method [Libro]. - Munich : Hanser Publishers, 1993.

**Kalpakjian S.** Manufacturing Engineering and Technology [Libro]. - [s.l.] : Prentice Hall, 2000.

**Kalpakjian Serope,Schmid** Manufactura Ingeniería y Tecnología, Cuarta edición [Libro]. - Naucalpan de Juárez, edo de México : Pearson educación , 2002.

**Kamarani AK Salhieh S** Product design for modularity. [Libro]. - Norwell : Kluwer, 2000.

**Katz Reuven** Design principles of reconfigurable machines [Publicación periódica] // Int J Adv Manuf Technol. - 2007. - págs. 34:430-439.

**Keys to Metals** www.keystometals.com [En línea] // Key to Metals. - Key to Metals AG. Todos los derechos reservados., 1999-2011. - 06 de 09 de 2011. - <http://www.keystometals.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=ktn&NM=2>.

**Khosla† Christiaan J.J. Paredis\* Pradeep K.** Synthesis Methodology for Task Based Reconfiguration of Modular Manipulation Systems [Publicación periódica] // Proceedings of the 6th International Symposium on Robotics Research. - 1993. - pág. 13.

**Koren Y Heisel U, Jovane F, Moriwaki T, Pritchow G, Van** Reconfigurable manufacturing systems [Publicación periódica] // Ann CIRP. - 1999. - págs. 48(2):527–540.

**Kota D. M. Tilbury and S.** Integrated Machine and Control Design for Reconfigurable Machine Tools [Publicación periódica] // Engineering Research

Center for Reconfigurable Machining Systems. - [s.l.] : Engineering Research Center for Reconfigurable Machining Systems, 1999. - pág. 7.

**Landers R.G.**, A New Paradigm in Machines Tools: Reconfigurable Machine Tools. [Publicación periódica]. - 2000. - 26 : Vol. 23. - págs. July 23-26 .

**Landers R.G., July 23-26 2000**, A New Paradigm in Machines Tools: Reconfigurable Machine Tools. [Publicación periódica]. - 2000. - págs. July 23-26 .

**Lee Gun Ho** Reconfigurability Consideration Design of Components and Manufacturing Systems [Publicación periódica] // Int J Adv Manuf Technol. - 1997. - págs. 13:376-386.

**León Agencia Informativa / Tansania** Presentan la primera máquina-herramienta reconfigurable en Mexico [Publicación periódica] // Portal Informativo/investigación. - 2010.

**Level Developments technical department** Level Developments [En línea]. - 2010. - 12 de Noviembre de 2010. - <http://www.leveldevelopments.com/sensitivity-explained.htm>.

**M.G Meherabi A.G Ulsoy, Y. Koren, P.Heytler** Trends and perspectives in flexible and reconfigurable manufacturing systems [Informe]. - Neatherlands : Kluwer Academic Publishers, 2002. - 12.

**Martínez Wolfgang A. Schmid y Ruben J. Lazos** Guía para estimar la incertidumbre de la medición. [Informe]. - El Marquez, Querétaro : CENAM, 2000.

**Mehrabi MG Ulsoy AG, Koren Y** Reconfigurable manufacturing systems: key to future manufacturing. [Publicación periódica] // Journal Intelligent Manufacture . - 2000. - págs. 11(4):403-419.

**Micheletti G.F y Knight, W.A** Tecnología Meccanica 1, il taglio dei metalli [Libro]. - Torino –Italia : Editrice Torinese UTET, 1989.

**Moon Y. M.** Reconfigurable Machine Tool Design [Sección del libro] // Reconfigurable Machine Tool Design.

**Mullany PhD. Brigid** Evaluation And Comparison Of The Different Standards [Informe]. - North Carolina : University of North Carolina, Charlotte, 2007.

**Norton R.L.** Machine design an integrated approach [Libro]. - New York : Prentice-Hall, 2000.

**Orban Z. M. Bi & Sherman Y. T. Lang & M. Verner & P.** Development of reconfigurable machines [Publicación periódica] // Int J Adv Manuf Technol (2008). - 2008. - págs. 39:1227–1251.

**Orban Z. M. Bi & Sherman Y. T. Lang & M. Verner & P.** Development of reconfigurable machines [Publicación periódica] // Springer-Verlag London Limited . - 2007.

**Prasad B.K.** Sliding wear response of cast iron as influenced by microestructural features and test condition [Publicación periódica] // Materials Science and Engineering. - 2006.

**Publication Cohners** Flexible assembly a boom for short production runs, Automated Assembly Line [Libro]. - Dearborn, MI : SME, 1984.

**R Katz** Design principles of reconfigurable machines [Publicación periódica] // Int J Adv Manufacturing Technology. - 2006. - págs. 34:430–439.

**R. Yañez-Valdez J. Sánchez-Vizcaíno** Procedimiento para la obtención de trayectorias independientes para la calibración de mesas de planitud. [Libro]. - Querétaro, Qro : IPN, 2009.

**R.G. Landers B.-K. Min and Y. Koren** Reconfigurable Machine Tools [Publicación periódica] // CIRP Annals - Manufacturing Technology. - 2001. - págs. 269-274.

**Renna Paolo** Capacity reconfiguration management in reconfigurable manufacturing systems [Publicación periódica]. - Londres : Int J Adv Manuf Technol, 2010. - 36. - DOI 10.1007/s00170-009-2071-2.

**Richard Figliola Donald Beasley** Mediciones mecánicas teoría y diseño [Libro]. - México DF : AlfaOmega, 2003. - ISBN 970-15-0852-1.

**Rodríguez. DrC. Ing. Roberto Pérez** Design of reconfigurable machine tools: case of a planer for bamboo machining [Publicación periódica] // Centro de Información y Gestión Tecnológica (CIGET). - Holguín, Cuba : Instituto de Información Científica y Tecnológica, 2010. - pág. 12.

**Schlesinger G.** Testing Machine Tools 8th edition [Libro]. - Inglaterra : Pergamon , 1978.

**Segundo Leobardo Arriaga** Reconversión de las Máquinas-Herramienta Convencionales a Control Numérico Computarizado [Libro]. - México,DF : Instituto Politécnico Nacional , 2004.

**Shlesinger Dr. Geo** Testing Machine Tools [Libro]. - New York : The Industrial Press, 1945.

**Spicer P Koren Y, Shpitalni M, Yip-Hoi D** Design principles for machining system configurations. [Publicación periódica] // CIRP Ann Manuf Technol. - 2002. - págs. 51:275–280.

**Tabatabaie M J Nategh\* and S E** An enhanced methodical approach to machine tool design procedure [Publicación periódica]. - Tehran, Iran : Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, 2006. - DOI: 10.1243/09544054JEM760.

**Tabatabaie M J Nategh\* and S E** An enhanced methodical approach to machine tool design procedure [Publicación periódica]. - Tehran, Iran : IMechE, 2007. - Vol. 222. - DOI: 10.1243/09544054JEM760.

**Teruel Francisco Cruz** Control numerico y programación [Libro]. - [s.l.] : Marcombo, 1984.

**Torres-Martínez Reydezel** Diseño y fabricación de un torno fresador didáctico de operación por control numerico computarizado [Informe]. - Santiago de Querétaro : Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, 1992.

**Uddin Mohammad Sharif** Tool Path Modification Approaches to Enhance Machining Geometric Accuracy in 3-Axis and 5-Axis Machining [Informe]. - Kyoto : Kyoto University Department of Micro Engineering, 2007.

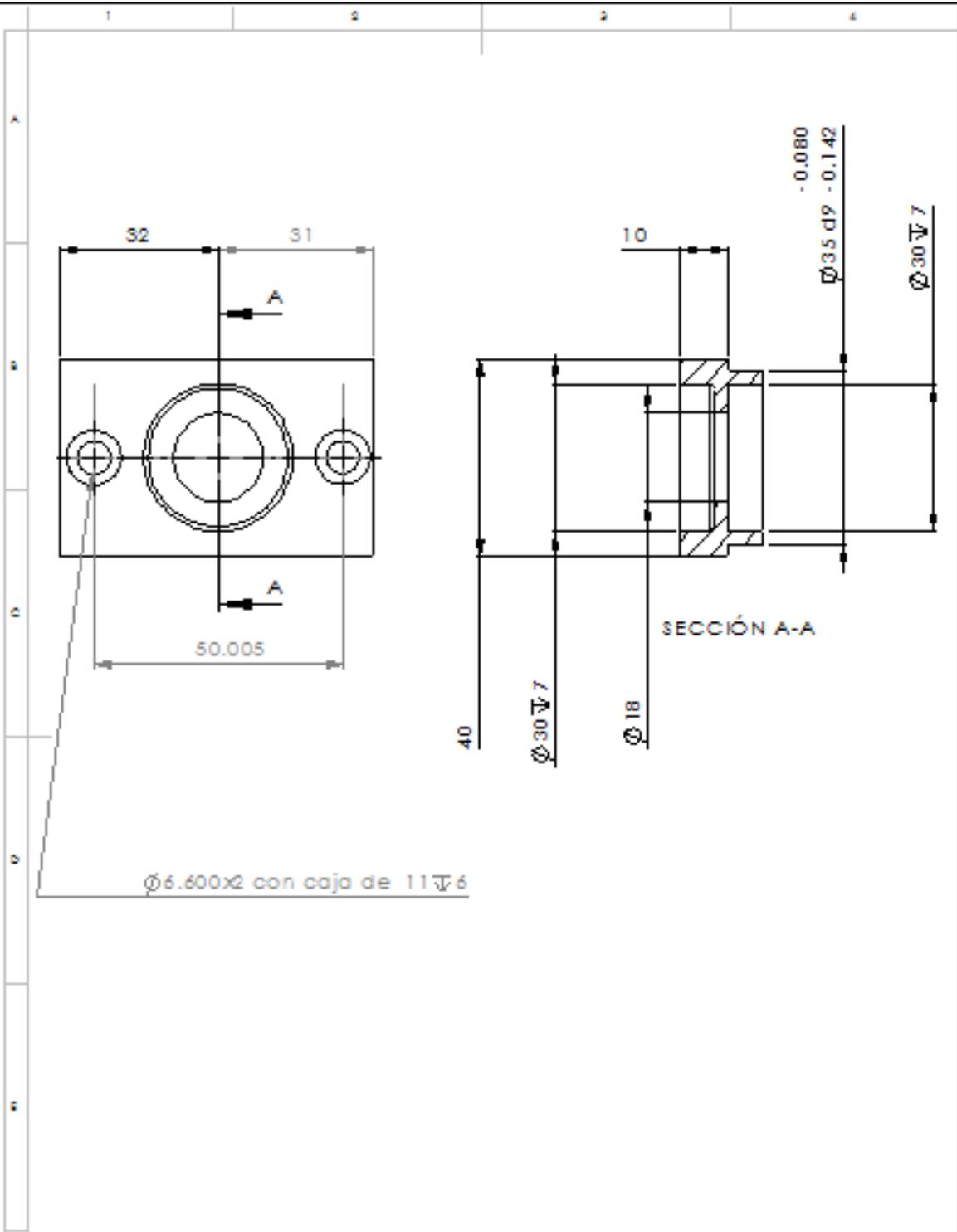
**V. MALHOTRA\* T. RAJ, A. ARORA** Excellent Techniques of Manufacturing Systems: RMS and FMS [Publicación periódica]. - Faridabad, India : International Journal of Engineering Science and Technology, 2010. - 3 : Vol. 2.

**Villanueva-Pruneda Sergio Ramos-Watanave Jorge.** Manual de métodos de fabricación Metalmecánica [Libro]. - Mexico DF : AGT, 1983. - 968-463-014-X..

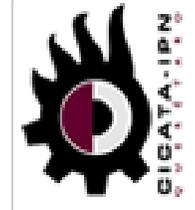
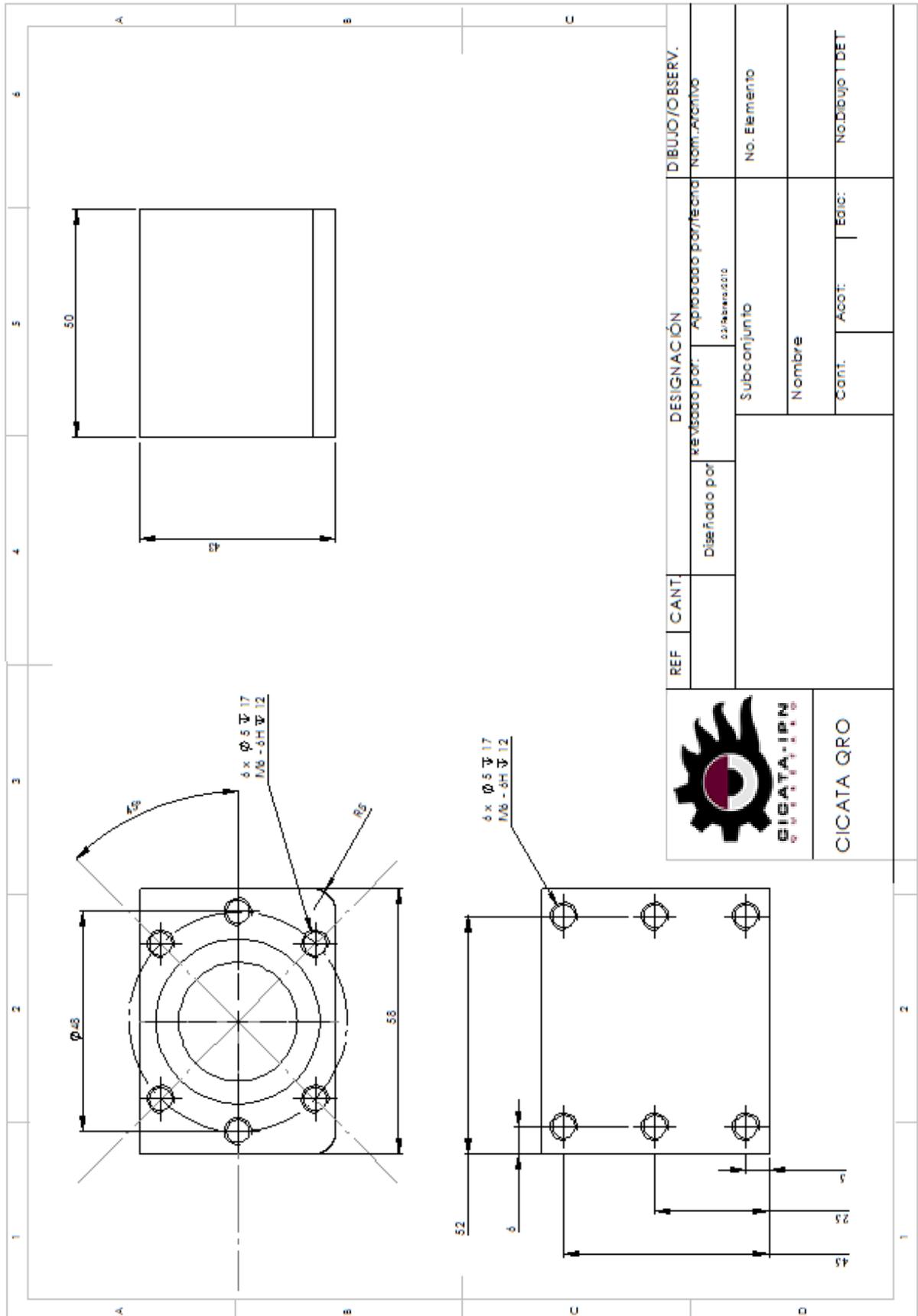
**Wilson Bruce A.** DRAFTING MANUAL Dimensioning and Tolerancing Symbols [Publicación periódica] // ASME Y14 . - 1997. - pág. 6: 1.

**Y Koren** Reconfigurable manufacturing and beyond [Conferencia] // Proceedings of the 3rd international conference on reconfigurable. - Ann Arbor, MI, USA : [s.n.], 2005.



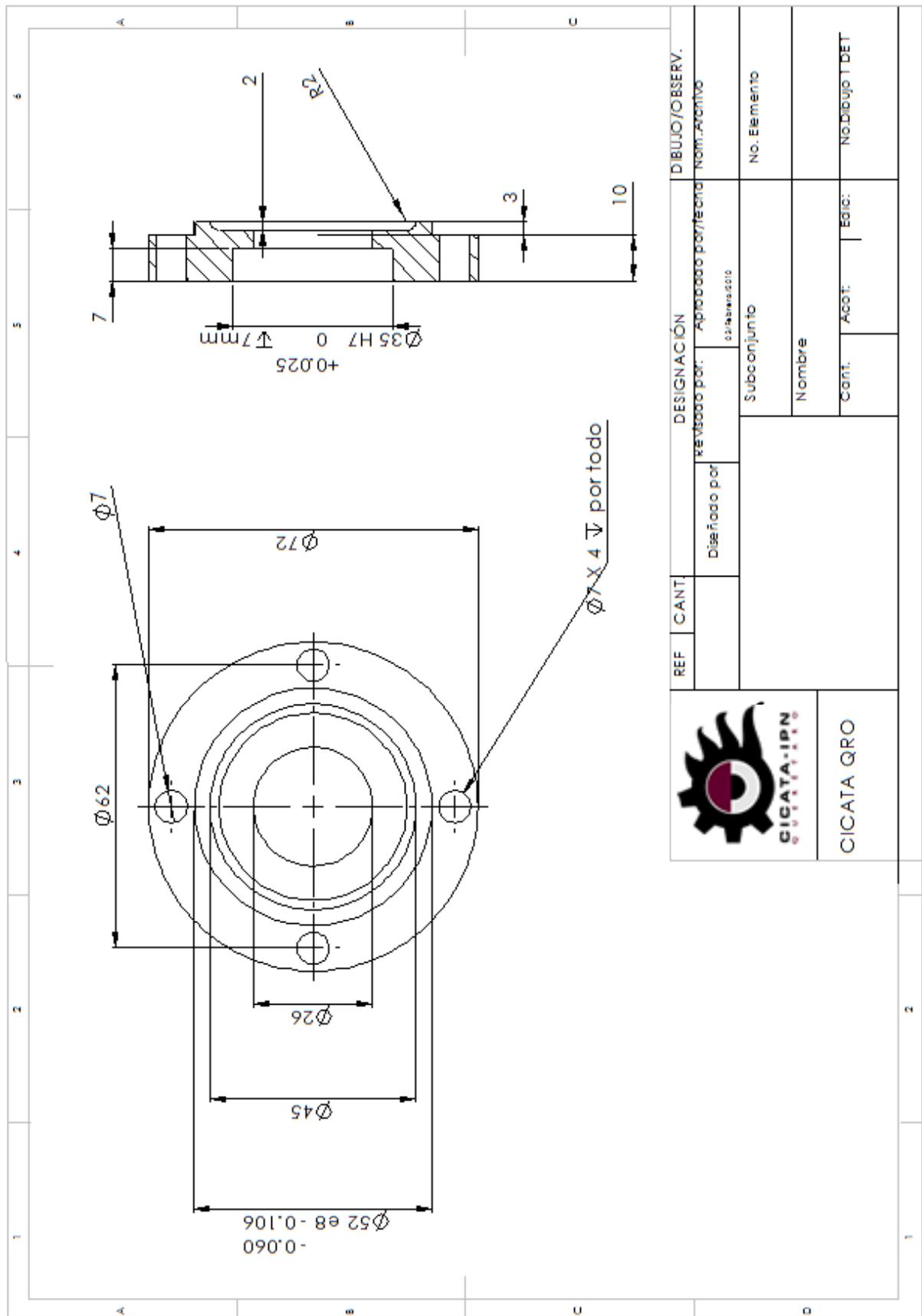


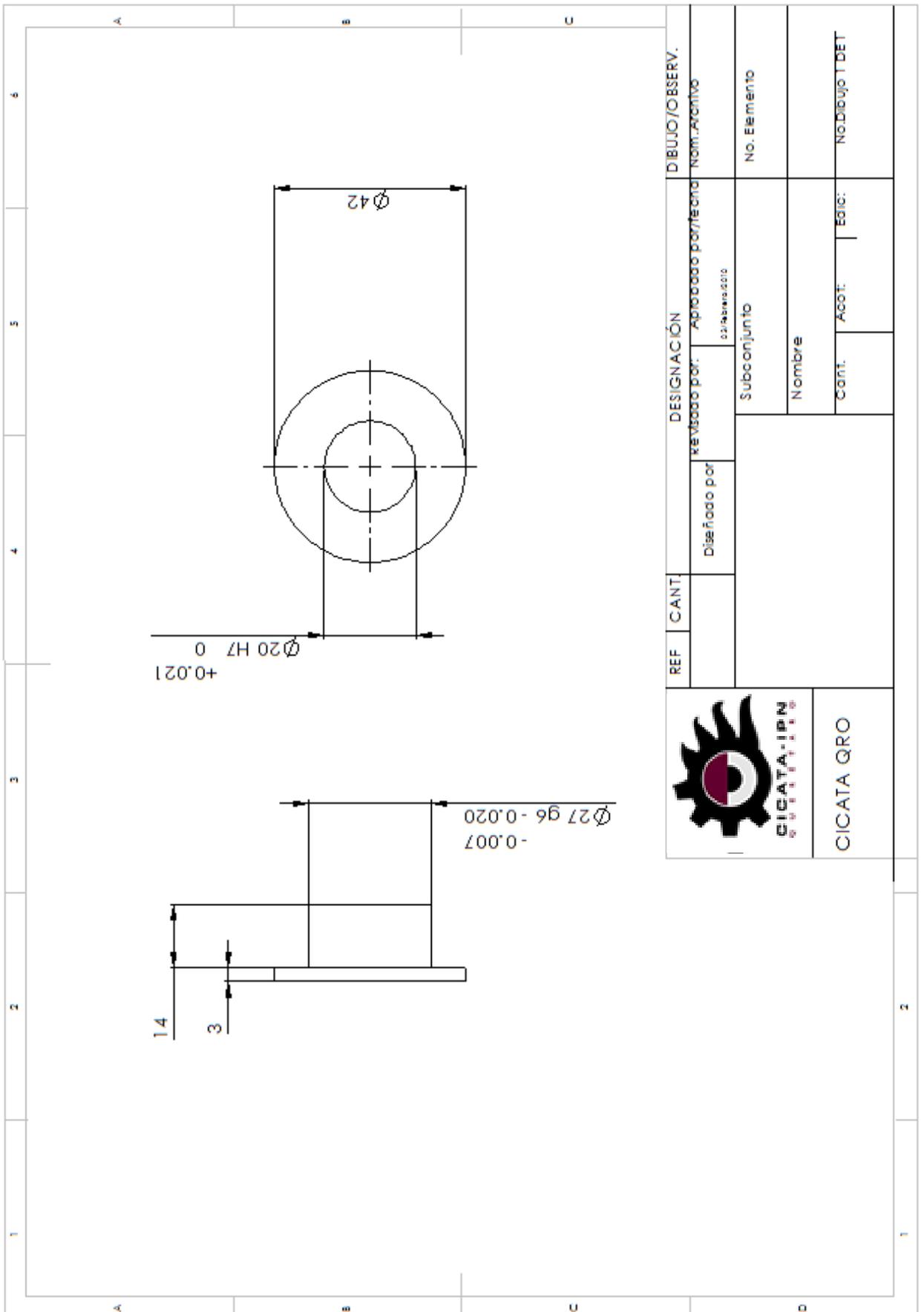
 <b>CICATA-IPN</b> <small>QUINTANA ROO</small>	REF.	CANT.	DESIGNACIÓN			DIBUJO/OBSERV.
	 Cliente/Proyecto	Diseñado por	Revisado por	Aprobado por/fecha	Nom. Archivo	
<b>CICATA QRO</b>	Subconjunto		No. Elemento			
	Nombre					
	Cant.	Acor.	Edic.	No. Dibujo 1 DE 1		

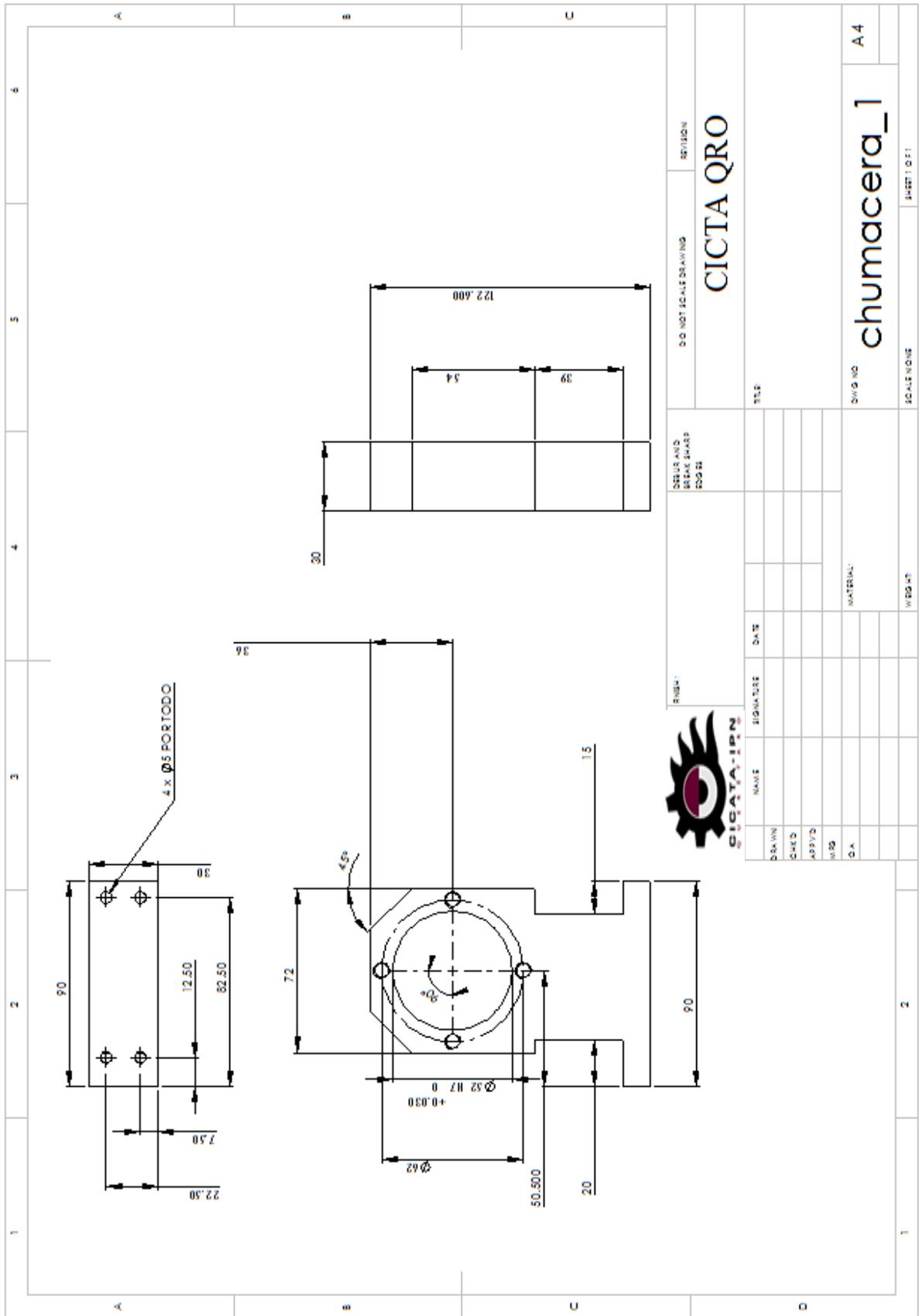


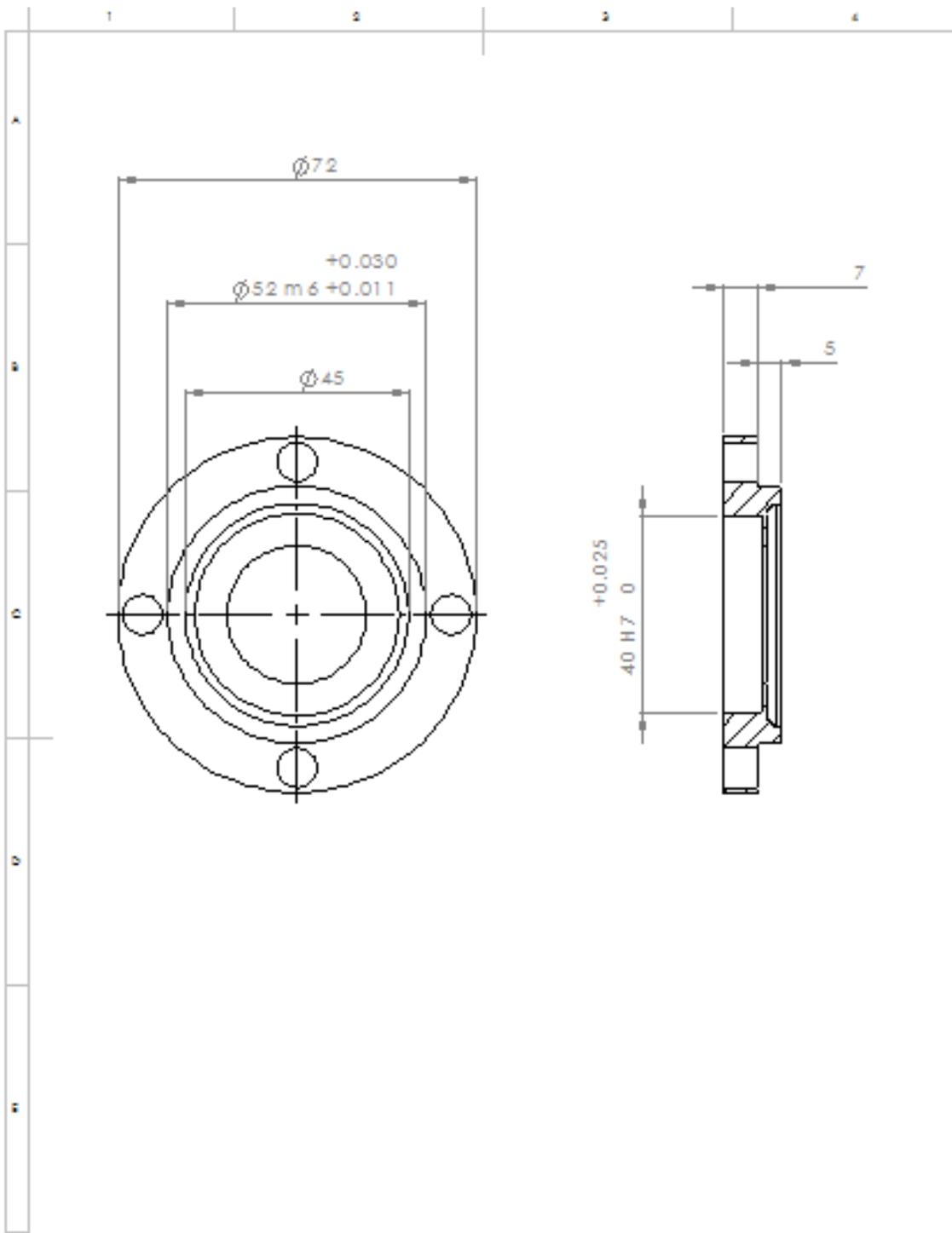
CICATA QRO

REF	CANT.	DESIGNACIÓN	DIBUJO/OBSERV.
		Diseñado por: Revisado por: Aprobado por/fecha: Subconjunto	Nom: No. Elemento
		Nombre: Cant: Acot: Esic:	No. Dibujo: TDET:

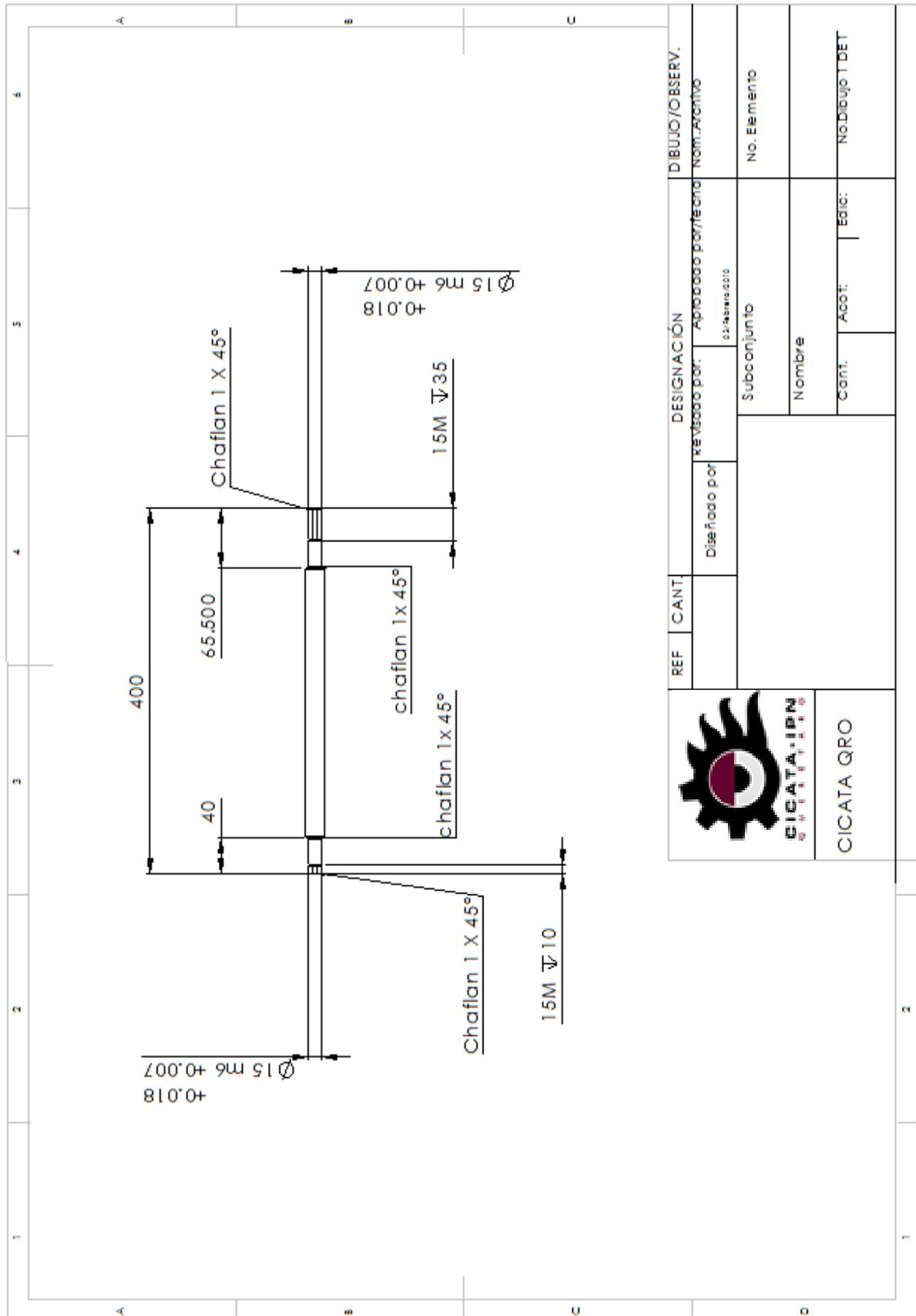




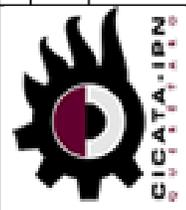




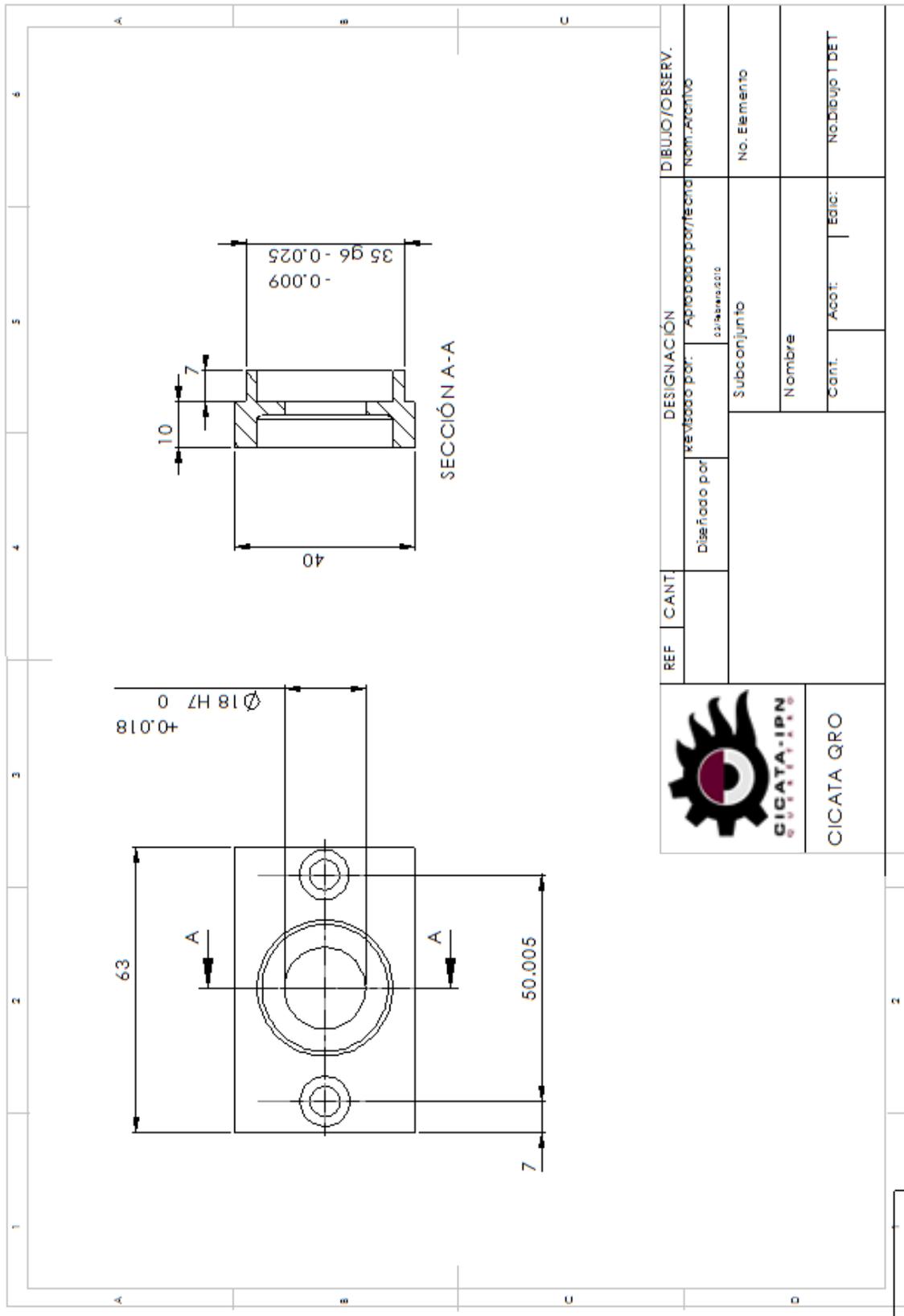
 <b>CICATA-IPN</b> QUERÉTARO	REF.	CANT.	DESIGNACIÓN		DIBUJO/OBSERV.
		Disegnado por	Revisado por:	Aprobado por/fecha	Nom. Archivo
	Cliente/Proyecto			Subconjunto	No. Elemento
				Nombre	
	CICATA QRO	Cant.	Acot.	Edic.	No. Dibujo 1 DE 1



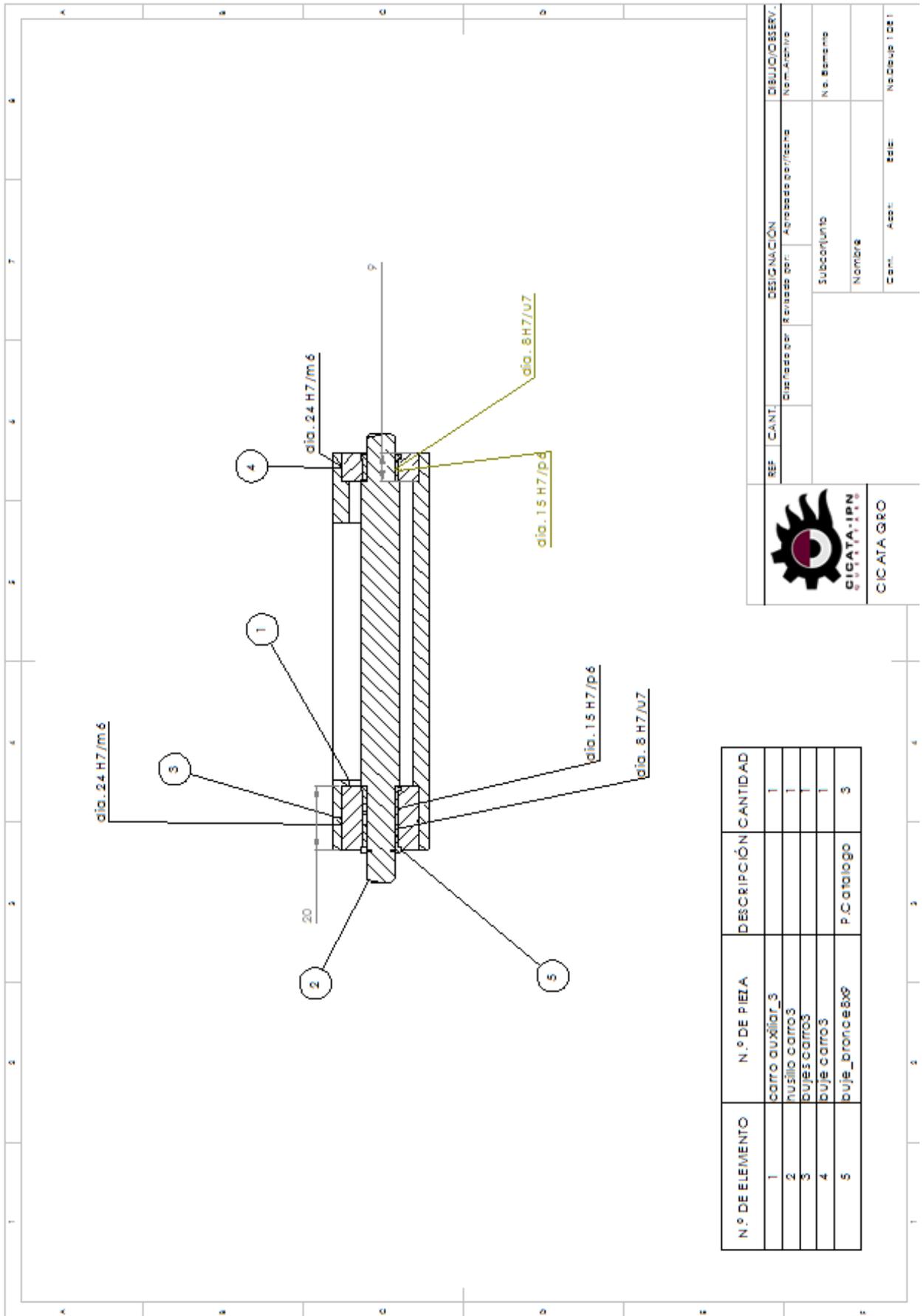
REF	CANT.	DESIGNACIÓN		DIBUJO/OBSERV.
		Diseñado por	Revisado por	
				Norm. Argentino
			02 febrero 2010	
		Subconjunto		No. Elemento
		Nombre		
		Cant.	Acot.	Edic.
				No. Dibujo / DET



CICATA QRO



REF	CANT	DESIGNACIÓN		DIBUJO/OBSERV.
		Revisado por:	Aprobado por/fecha	
		Diseñado por	Subconjunto	No. Elemento
			Nombre	
			Cant.	Edic:
				No. Dibujo T DET
				
		CIGATA QRO		

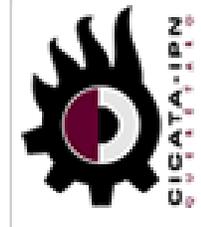
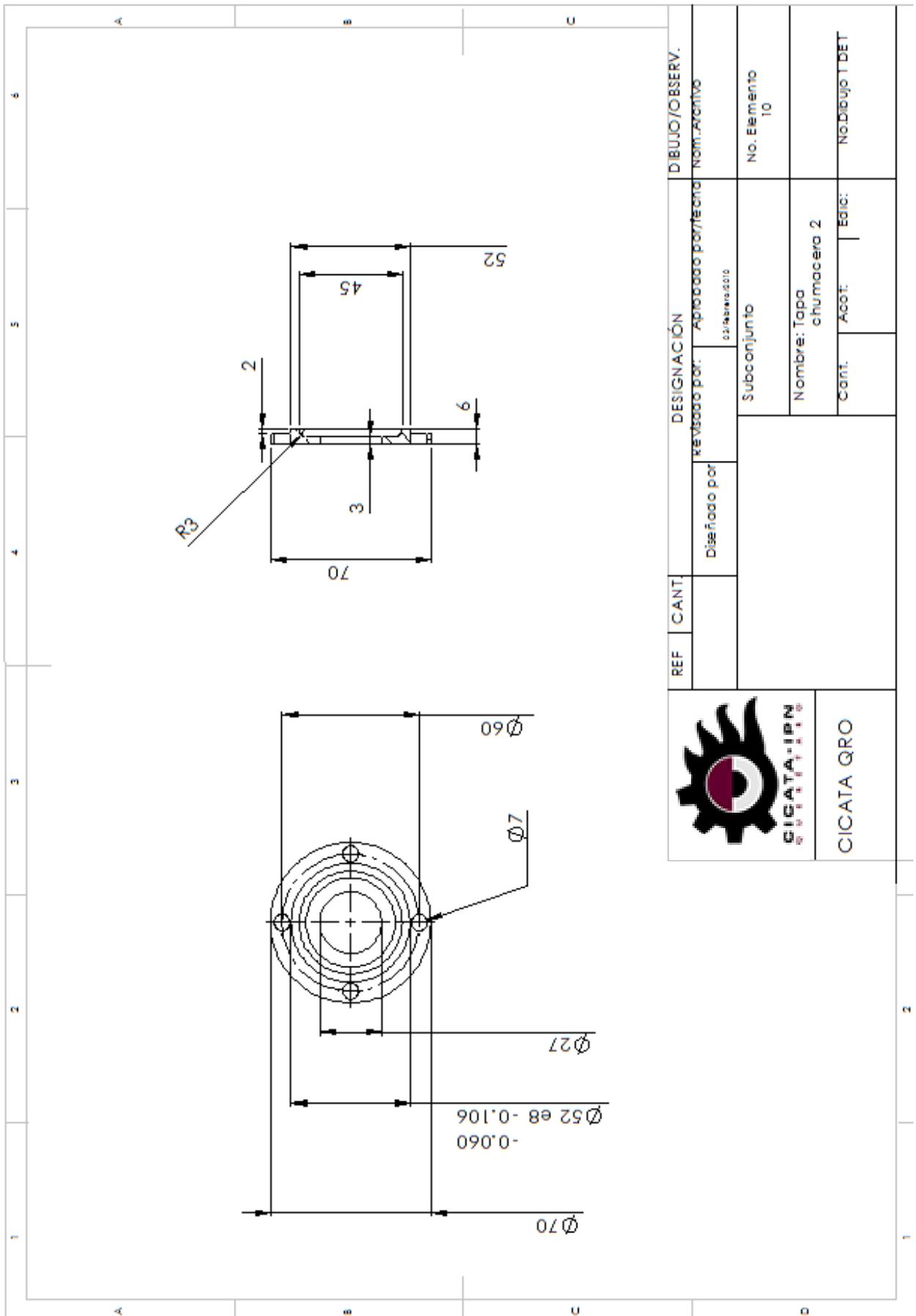


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	carro auxiliar_3		1
2	husillo carro3		1
3	buje carro3		1
4	buje carro3		1
5	buje_bronce3x8	P.Catalogo	3



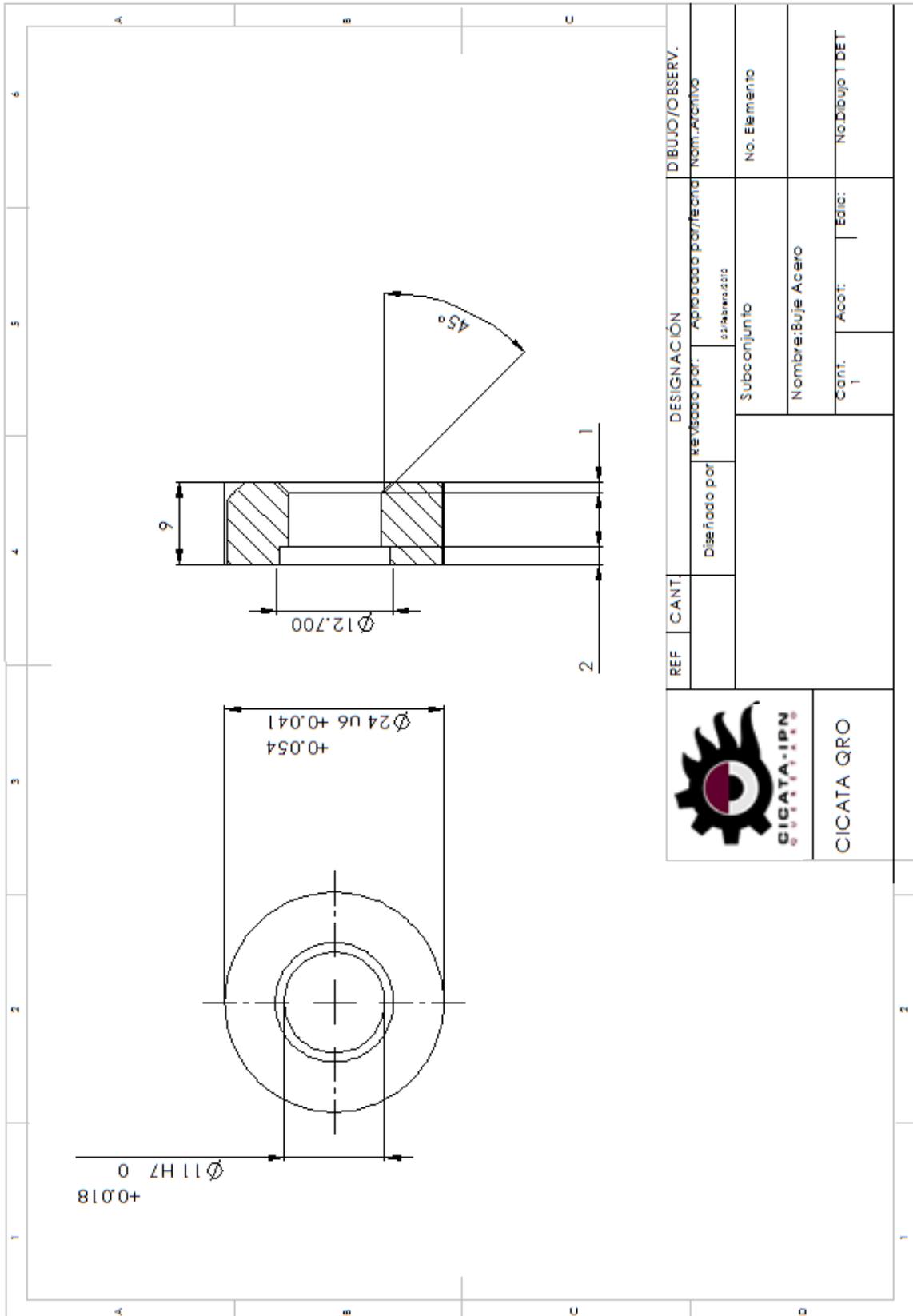
CICATA-GRO

REF.	CANT.	DESIGNACIÓN	DEBUIJO/BSERV.
		Elaborado por: Agencias calificadas	Norm. Archivo
		Subconjunto	No. Documento
		Nombre	
		Cant.	Asst.
		Edic.	Modifica 1081

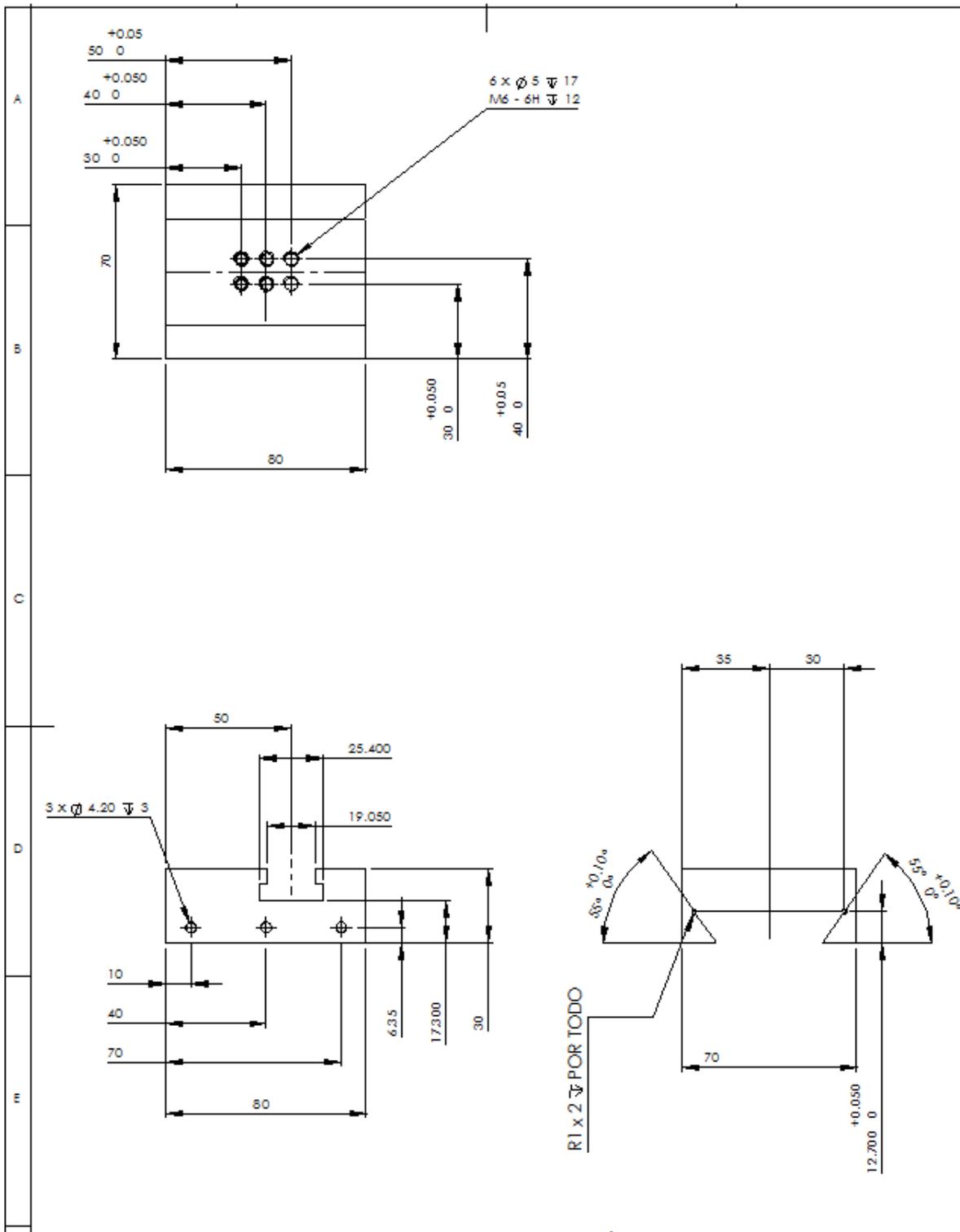


CICATA QRO

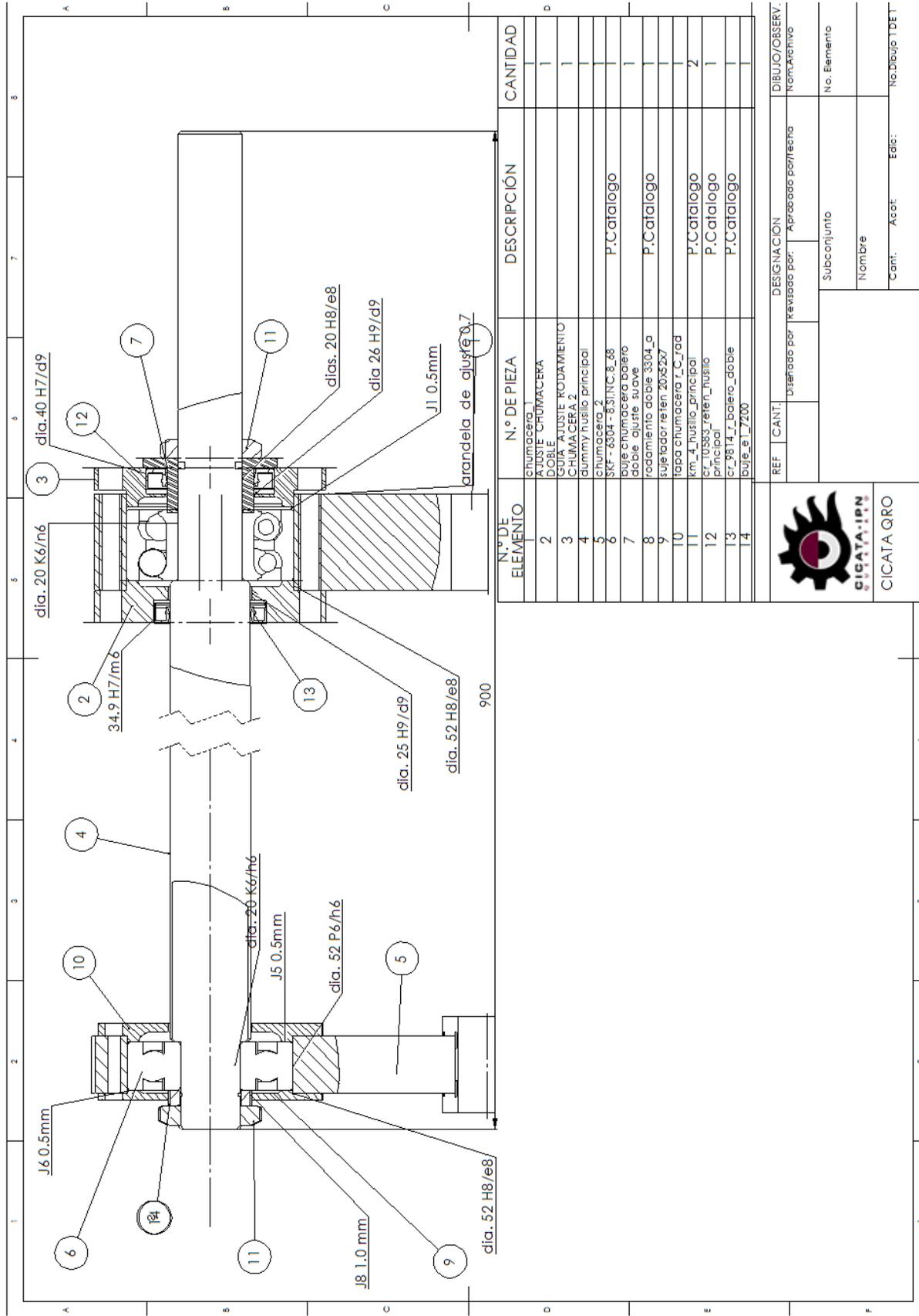
REF	CANT	DESIGNACIÓN	DIBUJO/OBSERV.																			
		<table border="1"> <tr> <td>Diseñado por</td> <td>Revisado por</td> <td>Aplicado por</td> <td>Referencia</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Subconjunto</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Nombre: Tapa chumacera 2</td> <td colspan="2">No. Elemento</td> </tr> <tr> <td>Cant.</td> <td>Acot.</td> <td>Edic:</td> <td>No. Dibujo T DET</td> </tr> </table>	Diseñado por	Revisado por	Aplicado por	Referencia			Subconjunto	10	Nombre: Tapa chumacera 2		No. Elemento		Cant.	Acot.	Edic:	No. Dibujo T DET	<table border="1"> <tr> <td>Norm. Argentina</td> </tr> <tr> <td>No. Elemento</td> </tr> <tr> <td>10</td> </tr> </table>	Norm. Argentina	No. Elemento	10
Diseñado por	Revisado por	Aplicado por	Referencia																			
		Subconjunto	10																			
Nombre: Tapa chumacera 2		No. Elemento																				
Cant.	Acot.	Edic:	No. Dibujo T DET																			
Norm. Argentina																						
No. Elemento																						
10																						



REF	CANT	DESIGNACIÓN	DIBUJO/OBSERV.	
		revisado por: <i>aprobado por/fecha</i>	Nom.: Archivo	
		Diseñado por: <i>elaborado</i>	No. Elemento	
		Subconjunto	Nombre: Bujie Acero	
			Cant: 1	Edici: No. Dibujo 1 DET
		CICATA QRO		



REF	CANT.	DESIGNACIÓN			DIBUJO/OBSERV.
		Diseñado por	Revisado por:	Aprobado por/fecha	Nom. Archivo
		Subconjunto			No. Elemento
		Nombre			
		Cant.	Acot:	Edic:	No. Dibujo / DET

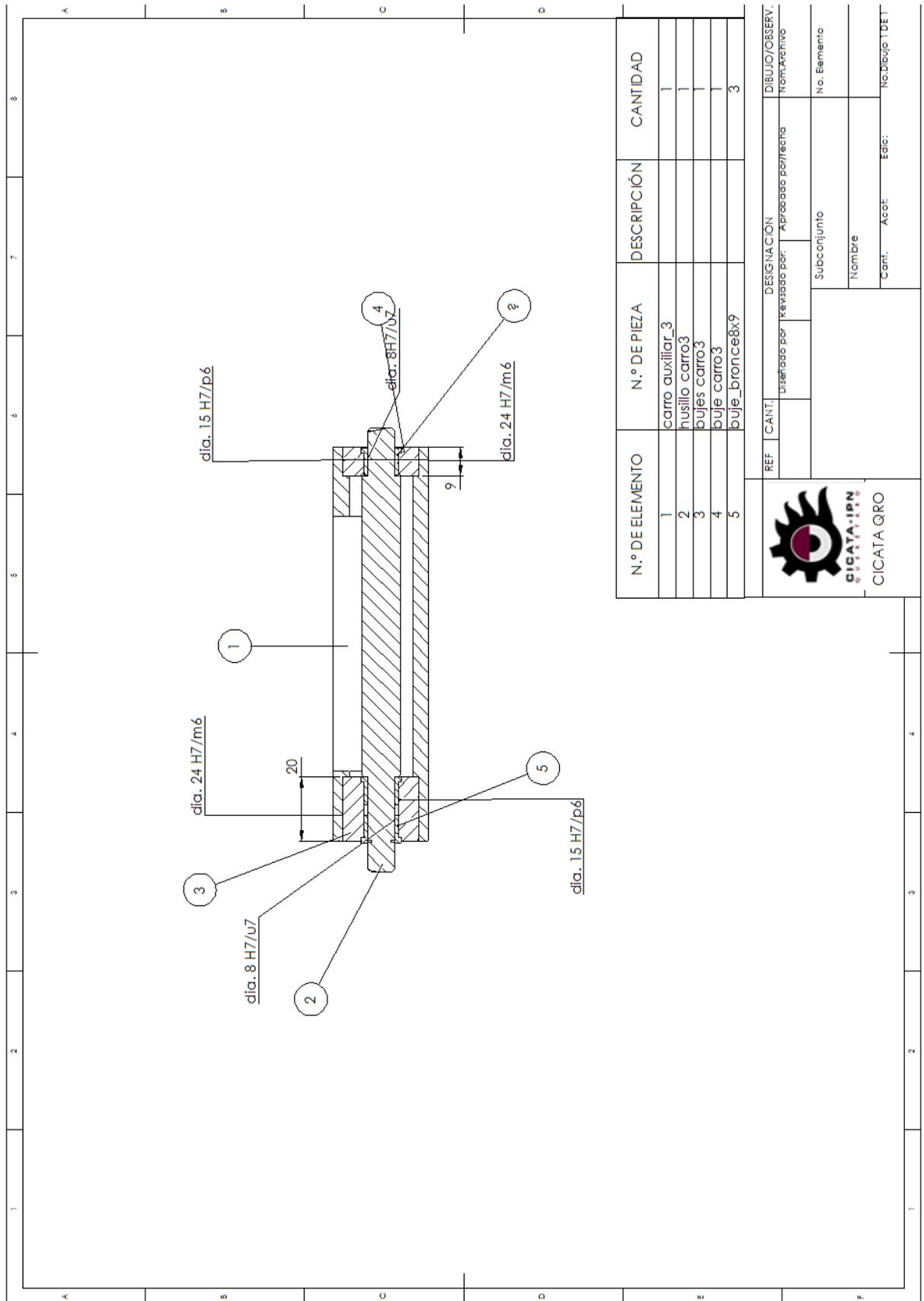


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	CHUMACERA 1		
2	AJUSTE CHUMACERA DOBLE		
3	GUIA AJUSTE RODAMIENTO		
4	CHUMACERA 2		
5	bummy husillo principal		
6	chumacera_2	P.Catalogo	
7	buje chumacera balero doble ajuste suave		
8	rodamiento doble 3304_a	P.Catalogo	
9	sujetador reten 20x32x7		
10	tapa chumacera L_C7rad		
11	br_10583_reten_husillo principal	P.Catalogo	2
12	br_10583_reten_husillo principal	P.Catalogo	1
13	br_9814_r_balero_doble	P.Catalogo	
14	Buje_e_1_7200		

REF	CANT.	DESIGNACION	DIBUJO/OBSERV.
		Disegnado por: Revisado por: Aprobado por/fecha	Nombre:
		Subconjunto	No. Elemento
		Nombre	
		Cant. Asot. Eloc.	No.Dibujo TDET



CICATA QRO



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	carro auxiliar_3		1
2	husillo carro3		1
3	buje carro3		1
4	buje carro3		1
5	buje_bronce8x9		3

REF.	CANT.	DESIGNACION	DIBUJO/OBSERV.
	Usados por	Revisado por/fecha	Nombre
			No. Elemento
		Subconjunto	
		Nombre	
		Cant.	Edic:
			No. Dibujo TDE T

