

105
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**SUSTITUCION DE IMPORTACIONES A
TRAVES DE LA INGENIERIA INVERSA**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

AREA INDUSTRIAL

P R E S E N T A
KARIM LOPEZ HERNANDEZ

DIRECTOR DE TESIS:
M I. LEOPOLDO GONZALEZ GONZALEZ

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

1997



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

Agradezco primeramente a Dios por darme la vida, la familia que tengo y por darme siempre la fuerza y aliento para concretar las metas propuestas.

Dedico éste trabajo a mis padres "Celia y Karim" por brindarme en todo momento su invaluable amor y apoyo incondicional, y de quienes he tenido un valioso ejemplo a seguir.

A mis hermanos; Joaquin y Sara, Paty y Memo por compartir conmigo su amor y cariño, importante apoyo en el desarrollo de mi vida.

A mis sobrinas; Katy, Ary y Pau quienes son parte de mis alegrías.

A tí Mire, por contar contigo en todo momento así como por tu valentía y coraje de vivir, que incentiva mis ganas de luchar, te amo.

A toda mi familia y amigos.

A mi asesor M.I. Leopoldo González G. por el tiempo para la preparación de ésta tesis.

Agradezco a todos mis profesores que han contribuido a mi desarrollo académico, a la Facultad de Ingeniería y a todos por quien fue posible la realización del presente trabajo.

INDICE

	página
ANTECEDENTES	1
OBJETIVO	4
CAPÍTULO I INGENIERÍA INVERSA	5
1.1 Proceso de Ingeniería Inversa	5
1.2 Especificación del Producto	8
CAPÍTULO II MÁQUINA DE MEDICIÓN POR COORDENADAS (CMM)	11
II.1 Introducción	11
II.2 Descripción de una CMM típica y sus accesorios	12
II.3 Funcionamiento de una CMM	17
II.4 Modos de operación de una CMM	19
II.5 Modos de programación de una CMM	20
II.6 Consideraciones para el funcionamiento de una CMM	22
II.7 Caso de aplicación	24
CAPÍTULO III CAD-CAE-CAM	31
III.1 Introducción	31
III.2 CAD-CAE-CAM	32
III.3 Situación actual y tendencias en la producción asistida por computadora	37
III.4 Caso de aplicación	39
III.5 Equipo utilizado	44
CAPÍTULO IV ANÁLISIS MECÁNICO	45
IV.1 Memoria de cálculo para el análisis de la flecha del sistema flecha-impulsor	45

CAPÍTULO V PROCESO DE MANUFACTURA UTILIZANDO CONTROL NUMÉRICO (CN)	61
V.1 Introducción	61
V.2 Control numérico	62
V.3 Finalidad del CN	64
V.4 Clasificación de las Máquinas-Herramientas con CN	66
V.5 Programación de las Máquinas-Herramientas con CN	68
V.6 Caso de aplicación	81
CAPÍTULO VI ENSAMBLE	91
VI.1 Proceso de manufactura de la Bomba Centrífuga	91
CAPÍTULO VII GUÍA DE OPERACIÓN DE LA BOMBA CENTRÍFUGA (CASO DE APLICACIÓN)	98
VII.1 Instalación de la Bomba Centrífuga	98
VII.2 Antes de Operar la Bomba Centrífuga	99
VII.3 Arranque de la Bomba Centrífuga	99
VII.4 Operación de la Bomba Centrífuga	100
VII.5 Problemas más frecuentes de la Bomba Centrífuga	101
VII.6 Mantenimiento de la Bomba Centrífuga	103
VII.7 Inspección y rehabilitación general de la Bomba Centrífuga	105
VII.8 Reensamble de la Bomba Centrífuga	106
CONCLUSIONES	108
APÉNDICE	111
Apéndice A Definiciones de manufactura	111
Apéndice B Planos de los subsistemas y vistas de la Bomba Centrífuga	112
Apéndice C Planos técnicos de manufactura	119
Apéndice D Tornos con CN de la Facultad de Ingeniería	123
BIBLIOGRAFÍA	126

ANTECEDENTES

Sin duda alguna, los últimos años de este siglo implican el afirmar el desarrollo de nuevas tendencias comerciales a nivel mundial, donde se proyectan nuevos cambios en la manera de comercializar, diseñar, producir, distribuir y sobre todo en la metodología e ideología del mundo para buscar respuestas a sus problemas y obtener mejoras substanciales dentro de la economía mundial.

Desde hace varias décadas, uno de los mayores problemas que ha enfrentado la industria nacional, tanto de procesos como de manufactura, es la disponibilidad inmediata de recursos materiales, que pueden ser equipos y/o partes de repuesto.

Este problema, se ha visto en la mayoría de las industrias que operan en los países en vías de desarrollo, ya que a falta de productores propios, se ven obligados a buscar recursos en otros países dando origen a las importaciones, que generalmente conllevan a pérdida de tiempo, costos elevados y disminución de la capacidad competitiva, entre otras consecuencias.

Frente a una necesidad de competir, y aún de sobrevivir en una economía de mercados abiertos que ha estado desarrollándose en los últimos tiempos, las empresas interesadas en su crecimiento comercial, han modificado su actitud, tratando de distinguirse entre otras por su preocupación hacia la productividad, eficiencia, calidad, servicio y costo del o los productos que ofrecen.

Con el objeto de prevenir la costosa sustitución de importaciones y ser competitivos, los industriales interesados, han buscado en primer orden procedimientos y técnicas que les permitan fabricar sus propios equipos y partes de repuesto y en segundo orden desarrollar y mejorar las técnicas empleadas.

Los primeros pasos dados para disponer de recursos propios, consistió en la imitación de los equipos o partes compradas, mediante el empleo de procesos y técnicas artesanales, es decir a baja escala, con resultados poco satisfactorios y no precisos.

Actualmente, para sustituir las importaciones, se utiliza el principio de la asimilación o acopio, que cuenta con la ayuda de procesos y técnicas mejoradas para obtener un producto con mayor rapidez, calidad y precisión, de tal forma que se crea una alternativa de mercado, pues el reemplazo muchas veces es más caro o simplemente imposible por causas tecnológicas.

A este principio de asimilación o acopio se le llama **Ingeniería Inversa**, en la actualidad representa una respuesta a las necesidades de encontrar un método viable para la sustitución de productos o prototipos con una funcionalidad específica, consiste esencialmente en copiar un producto, mediante el empleo de técnicas avanzadas que aseguran que las etapas del proceso de copiado del producto sean muy buenas, garantizando un resultado óptimo en el producto final. Y probablemente en el futuro inmediato represente una opción muy atractiva, para la disminución de costos de producción.

Para llevar a efecto el copiado del producto o modelo, se requiere su previa medición para poder realizar un plano que describa al modelo y a partir del plano diseñar el plan de manufactura, que finalmente nos permita alcanzar el copiado del modelo, en esta descripción generalizada se distinguen tres etapas fundamentales, medición, dibujo y manufactura del modelo.

Las tres etapas mencionadas, son posibles de realizar gracias a las técnicas que se describen a continuación; para la obtención de las dimensiones (cotas, ángulos, planos, etc.) se utiliza una Mesa de Medición por Coordenadas, para la obtención de los planos se utiliza Diseño Asistido por Computadora y finalmente para la etapa de manufactura se utiliza Manufactura Asistida por Computadora, como se puede observar el desarrollo de la Ingeniería Inversa, se sostiene en las herramientas de tecnología avanzada que serán descritas posteriormente, un gran parte del éxito depende principalmente de la revolución del mercado tecnológico, la cada vez mayor aplicación de la computación es muy importante, pues las computadoras son cada vez más accesibles en costos y en sus diversos usos para innumerables actividades productivas.

La propuesta del copiado de un producto por medio de la Ingeniería Inversa, se justifica cuando ciertos productos que deberían encontrarse en el mercado nacional se vuelven inaccesibles por su alto costo o sencillamente su existencia y localización se vuelve problemática.

De tal forma, la Ingeniería Inversa permite reducir las importaciones de productos (equipos y/o repuestos), y definitivamente es una propuesta clara para mejorar las condiciones operativas de la industria nacional.

Dentro de la definición de las etapas necesarias para copiar un producto, la Ingeniería Inversa cuenta con herramientas de tecnología avanzada, anteriormente mencionadas, y que a partir de esta descripción se denominarán por sus siglas, las cuales se describen a continuación:

CAD	Diseño asistido por computadora
CAE	Ingeniería asistida por computadora
CAM	Manufactura asistida por computadora
CMM	Máquina de medición por coordenadas
CNC	Control numérico computarizado.

Las tres primeras son herramientas tipo software que actúan en conjunto con una computadora, la cual, ayuda a darle rapidez a los cálculos así como gran flexibilidad en la entrada de información; las dos últimas, son máquinas que requieren para su funcionamiento de una unidad de procesamiento central (CPU, llamado también ordenador) y una pantalla o monitor que nos ayuda a conocer las características y el avance del proyecto que se este realizando.

Debido a que la fuerza competitiva de las empresas es cada vez más cerrada y día con día buscan disputarse la supremacía de los productos o servicios que ofrecen, se vuelve necesaria la incorporación de las computadoras en los procesos mencionados, para lograr el nivel de competencia que mantenga a las empresas vigentes y atentas de cualquier cambio tecnológico.

Los principales factores que propician la necesidad de considerar a la Ingeniería Inversa como una alternativa de disciplina para la manufactura de un producto dentro de una empresa, pueden ser, entre otros:

- Inexistencia de proveedores o productores nacionales de los productos requeridos.
- Altos costos de importación.
- Tiempos de entrega excesivos.
- Equipos con especificaciones superiores a las requeridas.

Algunas **ventajas** que pueden resultar de la aplicación de Ingeniería Inversa son:

- ✓ Disponibilidad de productos en corto tiempo.
- ✓ Fácil readaptación de los diseños de los productos de acuerdo a las necesidades del proceso.
- ✓ Simulación del comportamiento del producto antes de su fabricación o ensamble.
- ✓ Manufactura de los productos con mayor rapidez.

Las posibles **desventajas** que pueden resultar, son:

- ✗ Altos costos de inversión.
- ✗ Equipos altamente especializados con altos costos de mantenimiento.
- ✗ Se requiere mano de obra calificada y especializada.

Es importante señalar que la Ingeniería Inversa, puede ser aplicada para objetivos diferentes, pero su principal marco de aplicación es el sector industrial, donde existen equipos o dispositivos mecánicos susceptible de mejorar e incluso reemplazar con dispositivos de tecnología actualizada.

OBJETIVO

En ésta tesis se presenta una metodología para la aplicación de la Ingeniería Inversa por medio de las herramientas de tecnología avanzada que nos asisten en los procesos de digitalización, diseño, desarrollo y plan de manufactura de los modelos que esperamos fabricar. Para la presente tesis, el modelo corresponde al conjunto "flecha-impulsor", que esta compuesto de dos elementos que dan origen a un mecanismo y forman parte esencial del funcionamiento de una bomba centrífuga de tipo horizontal que actualmente es utilizada en la industria nacional, para su reparación en caso de necesitarla, se vuelve muy costosa y como consecuencia la mayoría de las empresas se ven obligadas a importar refacciones.

La principal característica de las herramientas de la Ingeniería Inversa, es el uso de la computación, debido a que el desarrollo comercial, fácil obtención y uso de las computadoras cada vez es mayor, además de que asegura la precisión de las actividades que desarrolla y controla.

El conjunto "flecha-impulsor" como se muestra en la Figura 1.0, forma parte del mecanismo de transmisión de energía, que se aplica a los fluidos para impulsarlos hacia algún proceso definido, esto se logra gracias a que la flecha transmite al impulsor una energía mecánica producto del movimiento rotatorio de un motor eléctrico.

Debido a los esfuerzos mecánicos (flexión, compresión, etc.) a los que está expuesto el mecanismo "flecha-impulsor", y gracias a datos estadísticos, que muestran que el conjunto "flecha-impulsor" a menudo presenta fallas mecánicas producto de los esfuerzos a que está sujeto durante su operación, esto, obliga a buscar el reemplazo de la flecha o del impulsor según sea la gravedad de la falla, por ello se propone en esta tesis el uso de la Ingeniería Inversa, como alternativa de manufactura para el conjunto "flecha-impulsor".

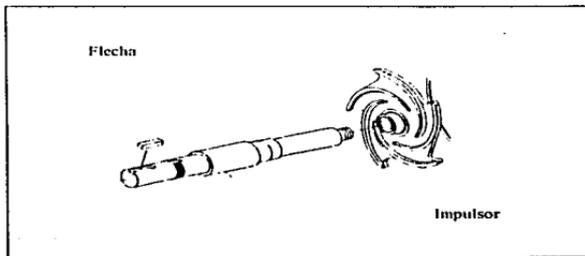


Figura 1.0 Conjunto flecha-impulsor

CAPITULO I

INGENIERÍA INVERSA

I.1 PROCESO DE INGENIERÍA INVERSA

La Ingeniería Inversa surge a partir de la necesidad de manufacturar productos (piezas o equipos) sin importar su grado de complejidad en el menor tiempo posible, el concepto fundamental de la Ingeniería Inversa es construir un ciclo donde a partir de un producto (modelo elaborado, con existencia física), se realice una medición o digitalización, como base para elaborar un plano del modelo, y posteriormente ayude a diseñar un programa o plan de maquinado de tal forma que se pueda repetir el proceso de maquinado hasta el número de piezas deseadas.

El proceso de la Ingeniería Inversa es un procedimiento contrapuesto al proceso de diseño y manufactura convencional, el cual comienza detectando y determinando una insatisfacción para buscar por medio del diseño de prototipos, pruebas o ensayos, la manufactura del mismo para dar forma a un elemento o a un procedimiento que satisfaga la necesidad detectada desde el comienzo.

A su vez la Ingeniería Inversa propone para la manufactura de algún elemento o modelo perfectamente definido, la digitalización por medio de equipos electrónicos, como una Máquina de Medición por Coordenadas (CMM) que facilita la medición y obtención de las dimensiones del producto, que servirán para elaborar un dibujo ingenieril con el apoyo de una computadora y con el software adecuado (CAD), una vez resuelta esta operación se busca transmitir la información necesaria del producto, al proceso de manufactura (CAM) que tiene como finalidad poder reproducir mediante secuencias de maquinados un producto similar y aún mejor al original.

Las etapas de la Ingeniería Inversa como un proceso se representan en la Figura 1.1 que a continuación se muestra:

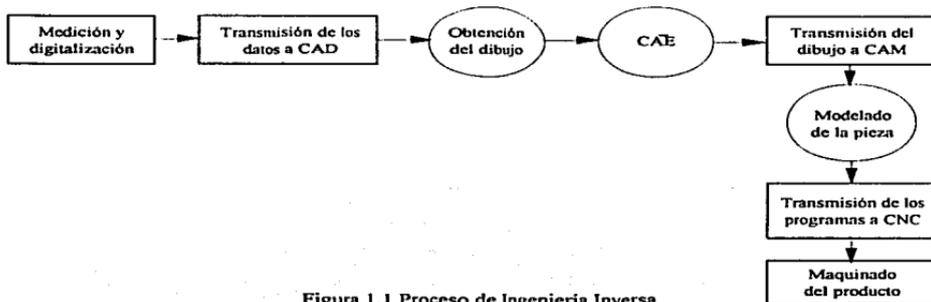


Figura 1.1 Proceso de Ingeniería Inversa

1.- Medición y digitalización de la pieza original

Con ayuda de una máquina de medición por coordenadas (CMM), se mide y se determinan las dimensiones de cada parte de nuestro producto (a este proceso se le llama digitalización), gracias a la eficiencia y precisión de las máquinas de medición por coordenadas se puede digitalizar cualquier figura, independientemente de la complejidad geométrica que tenga.

2.- Transmisión de la información a un paquete de Diseño asistido por computadora (CAD)

La transmisión de la información de los datos del producto se efectúa simultáneamente al digitalizarlo, debido a que existe una comunicación continua entre la máquina de medición por coordenadas y el paquete de diseño CAD. La comunicación se establece mediante un código de "Inicial Graphics Exchange Specification" llamado IGES, el cual ayuda a acoplar la información de manera lógica y manejable para el paquete CAD.

Diseñar un producto utilizando herramientas de software como un sistema CAD, ayuda a simplificar el proceso enormemente ya que los cambios y modificaciones que puede hacer el sistema, son operaciones sencillas que disminuyen el tiempo para hacer el proceso más económico, de mejor definición y por lo tanto de mejor calidad.

El sistema CAD permite al diseñador visualizar las piezas dibujadas, permitiendo detectar y corregir posibles fallas antes de pasar a la etapa siguiente.

3.- Obtención del dibujo mediante la edición de la información recibida

Una vez que la información se encuentra dentro de CAD, el siguiente paso será el estudio a detalle de la información, lo que sucede en el momento de la digitalización así como en la traducción por parte de CAD de los datos obtenidos, con ésta depuración obtendremos un dibujo mejorado.

4.- CAE

Se encarga del análisis de la información (dibujo) por medio de software, se analizan las características principalmente de esfuerzos en las condiciones de trabajo de las piezas dibujadas. Por la importancia que cobra un buen análisis, es preciso tener los conocimientos técnicos, para interpretar los resultados en forma gráfica o en forma implícita, ya que de ello depende una decisión correcta.

5.- Transmisión del dibujo a un paquete de modelado

En esta parte del proceso, el dibujo ingenieril depurado en el paquete CAD se transmite a un paquete de Manufactura asistida por computadora (CAM), con ayuda de un traductor la operación se vuelve similar al punto dos.

6.- Modelado de la pieza

Esta es la parte más importante del proceso, aquí se cuenta con el dibujo o plano resultado de los cinco pasos anteriores, este plano del producto con detalle ayudará para definir las trayectorias y velocidades de corte requeridas para el maquinado, las trayectorias de corte pueden ser de tres diferentes tipos dependiendo del maquinado que se necesite, los cuales se describen:

a) Trayectoria de desbaste, se utilizan para aproximar una pieza en bruto a la que deseamos llegar, dicho de otra manera el desbaste es la eliminación de material innecesario para la geometría deseada.

b) Trayectorias de perfilado, tienen como objetivo aproximar lo posible la pieza desbastada a la figura deseada dejando un poco de material.

c) Trayectoria de afinado similar a la anterior pero los parámetros de profundidad de corte, velocidad de corte, son bajos, lo que permite hacer un acabado superficial muy bueno.

7.- Transmisión de los programas a una máquina con control numérico (CN)

Es importante la elaboración de los programas que contienen la información y la descripción de las operaciones de maquinado en código "G" que generalmente son guardados en un disco flexible, se requiere transmitirlos a una máquina de control numérico como puede ser un torno, una fresadora, un centro de maquinado, etc., por medio de una interfase que introduce la información a una máquina-herramienta con control numérico.

8.- Maquinado del producto (equipo o pieza)

Al recibir la información la máquina-herramienta con control numérico, es necesario colocar el producto en bruto sobre las mordazas de la máquina, colocar las herramientas de corte, y constatar que las medidas de seguridad estén dispuestas para iniciar el maquinado, obteniendo como resultado un producto idéntico al digitalizado en el comienzo del proceso de Ingeniería Inversa.

Es necesario recordar que la Ingeniería Inversa no es una herramienta para uso exclusivo en los viejos problemas, también nos brinda una metodología para hacer cambios en el presente, estos cambios mantendrán eficientemente las capacidades de manufactura actuales.

1.2 ESPECIFICACIÓN DEL PRODUCTO

La bomba centrífuga es un equipo mecánico que sirve para impulsar fluidos de un lugar a otro, se compone de un motor que convierte la energía eléctrica en energía mecánica, el cual, se encuentra acoplado a la bomba mediante el conjunto "flecha-impulsor", conocido como mecanismo de transmisión, el cual bombea a los fluidos para ser aprovechados en diversas actividades productivas de tipo industrial, ver Figura 1.2.

La bomba centrífuga presenta las siguientes características:

Bomba centrífuga	Tipo Horizontal (con empaquetadura)
Diám. succión...	1 1/2"
Diám. descarga...	1"
Impulsor...	Tipo abierto
Diám. impulsor máximo...	6"
Lubricación...	Aceite
Presión máxima...	150 psi
Potencia...	25 HP @ 3600 rpm

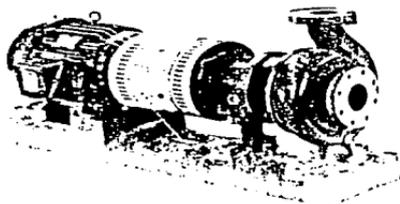


Figura 1.2 Bomba Centrífuga

La bomba centrífuga anterior tiene sus principales aplicaciones en los procesos petroquímicos, químicos y de usos generales, permite el flujo de aguas con pequeños sólidos en suspensión muy común en los procesos industriales.

Durante el desarrollo de esta tesis, se abundará acerca de las características de esta bomba centrífuga, así como la aplicación de las herramientas de la Ingeniería Inversa al conjunto de transmisión de energía "flecha-impulsor", como ejemplo práctico.

En la Figura 1.3 se muestra el dibujo explosivo de la bomba centrífuga utilizada en el desarrollo de la presente tesis:

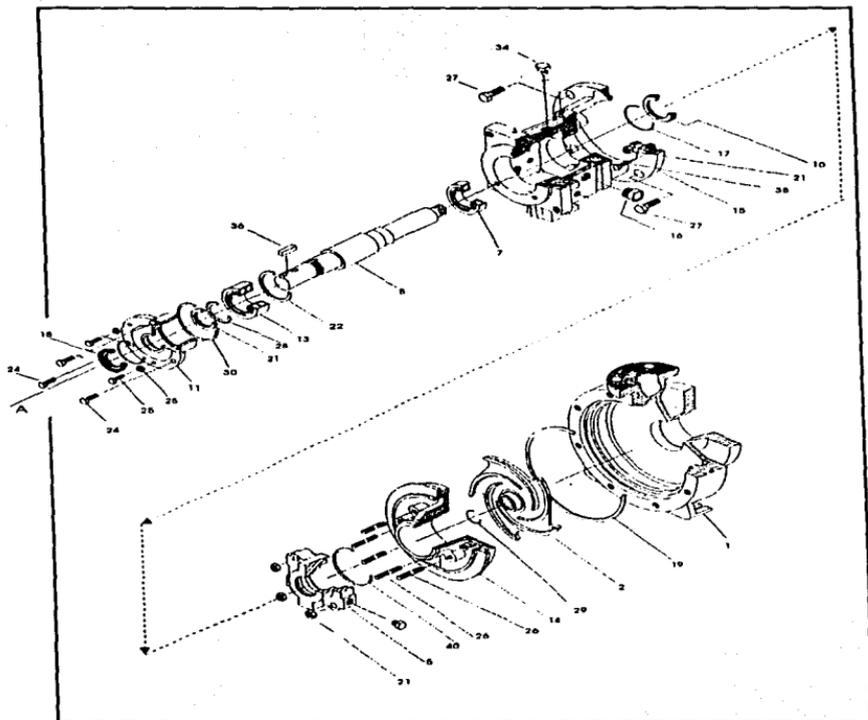


Figura 1.3 Dibujo explosivo de la Bomba Centrífuga

En la Figura 1.3, se enumeran los elementos que conforman a la bomba centrífuga, a continuación, en la Tabla 1.0 se listan las partes y algunas características.

No. PARTE	CANT.	NOMBRE DE PARTE	MATERIAL DE CONSTRUCCION	PROCESO DE FABRICACION
1	1	VOLUTA	ACERO INOXIDABLE 316	FUNDICION A TRAVES DE MODELO
2	1	IMPULSOR	ACERO INOXIDABLE 316	FUNDICION A TRAVES DE MODELO
3	1	ANILLO LINTERNA	TEFLON	MAQUINADO
4	5	ANILLO	ASBESTOTEFLON	COMPRA DIRECTA
5	1	GLANDULA	ACERO INOXIDABLE 316	FUNDICION A TRAVES DE MODELO
6	1	ADAPTADOR SOPORTE	FUNDICION HIERRO NODULAR	FUNDICION A TRAVES DE MODELO
7	1	BALERO	ACERO COMERCIAL	BOLAS DE 1 HILERA
8	1	FLECHA	ACERO INOXIDABLE 316	MAQUINADO
9	1	DEFLECTOR	NYLAMID	MAQUINADO
10	1	ALOJAMIENTO SELLO	CARBON	
11	1	ALOJAMIENTO DE BALEROS	FUNDICION HIERRO NODULAR	FUNDICION A TRAVES DE MODELO
12	1	TUERCA BALEROS	ACERO COMERCIAL	COMPRA DIRECTA
13	1	BALERO	ACERO COMERCIAL	BOLAS DE 2 HILERAS
14	1	CONTRAVOLUTA	ACERO INOXIDABLE 316	FUNDICION A TRAVES DE MODELO
15	1	CAJA DE BALEROS	FUNDICION HIERRO NODULAR	FUNDICION A TRAVES DE MODELO
16	1	ACEITERA	PLASTICO	COMPRA DIRECTA
17	1	SELLO ACEITE	ACERO/BUNA	COMPRA DIRECTA
18	1	SELLO ACEITE	ACERO/BUNA	COMPRA DIRECTA
19	1	JUNTA VOLUTA	ASBESTO	CORTE
20	2	ESPARRAGOS	ACERO INOXIDABLE 316	COMPRA DIRECTA
21	2	TUERCA	ACERO INOXIDABLE 316	COMPRA DIRECTA
22	1	ANILLO CANDADO	ACERO COMERCIAL	COMPRA DIRECTA
24	3	TORNILLO ALOJAMIENTO DE BALEROS	ACERO INOXIDABLE 316	COMPRA DIRECTA
25	3	TORNILLO DE AJUSTE IMPULSOR	ACERO INOXIDABLE 316	COMPRA DIRECTA
26	2	ESPARRAGO	ACERO INOXIDABLE 316	COMPRA DIRECTA
27	6	TORNILLO VOLUTA	ACERO INOXIDABLE 316	COMPRA DIRECTA
28	1	ROLDANA ESTRELLA	ACERO COMERCIAL	COMPRA DIRECTA
29	1	"O" RING	TEFLON	FABRICACION
30	1	"O" RING ALOJAMIENTO BALERO	TEFLON	COMPRA DIRECTA
32	1	"O" RING IMPULSOR	TEFLON	COMPRA DIRECTA
33	1	ALOJAMIENTO DE SELLO ACEITE	ACERO COMERCIAL	COMPRA DIRECTA
34	1	RESPIRADOR CAJA BALERO	HIERRO GRIS	COMPRA DIRECTA
35	1	CONEXION ACEITERA	HIERRO GRIS	COMPRA DIRECTA
36	1	CUÑA COBLE	ACERO COMERCIAL	COMPRA DIRECTA
37	6	TAPON ALLEN	HIERRO GRIS	COMPRA DIRECTA
39	1	SEGURO	ACERO COMERCIAL	COMPRA DIRECTA
40	1	"O" RING GLANDULA	NEOPRENO	COMPRA DIRECTA

Tabla 1.0 Lista de partes y materiales para la Bomba Centrífuga

CAPITULO II

MÁQUINA DE MEDICIÓN POR COORDENADAS (CMM)

II.1 INTRODUCCIÓN

La inspección o verificación se basa en la comprobación de que un producto cumpla con las especificaciones establecidas para su diseño o a partir de su diseño. La verificación hace referencia a una comprobación de que las dimensiones estén dentro del campo de tolerancias establecidas. Como alternativa de inspección automática dimensional, destacan las máquinas de medición por coordenadas (CMM), las cuales son herramientas de alta precisión diseñadas para la medición de piezas. Una CMM ofrece una medición rápida y precisa superior a una micra y su principal elemento es un palpador que puede desplazarse en un espacio de tres dimensiones conectado a un sistema de control con un microprocesador que reconoce en todo instante su posición.

Con respecto a las técnicas manuales de medición, una CMM ofrece estas ventajas:

- ✓ **Mayor flexibilidad** puede cubrir casi cualquier tipo de forma geométrica.
- ✓ **Mayor productividad** debido a que los tiempos de medición son considerablemente menores.
- ✓ **Minimización de la influencia del operador** pues este debe preocuparse solamente de efectuar las mediciones en una secuencia prevista. El análisis de los resultados lo efectúa la unidad de procesamiento central (CPU) con lo que queda asegurada la uniformidad de criterio de medición.
- ✓ **Mayor precisión**

II.2 DESCRIPCIÓN DE UNA CMM MANUAL TÍPICA Y SUS ACCESORIOS

Actualmente existen una gran variedad de CMM, y cada una de ellas puede tener características y elementos diferentes, por ello es necesario mostrar un arreglo de conexiones en la Figura 2.1 para hacer una descripción general de los elementos que componen a una CMM.

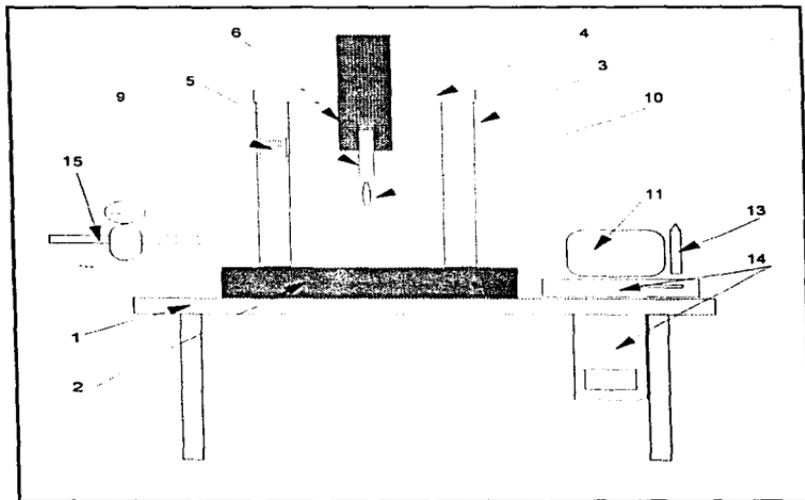


Figura 2.1 Arreglo de conexiones y partes básicas de una CMM

La numeración que se puede apreciar en la figura anterior corresponde a algunos de los elementos que forman parte de una CMM y que a continuación se describen brevemente.

1.- Base

Su fabricación es principalmente de aluminio fundido y esta provista de tres elementos de nivelación independientes. Sostiene a la mesa de granito proporcionándole rigidez y estabilidad para un correcto funcionamiento de la máquina y procurar mediciones precisas.

2.- Mesa de granito

Montada sobre soportes de bola y en "V". Sirve para colocar y sujetar las piezas a verificar.

3.- Carriles del eje "Y"

Se encuentran montados sobre la base. Funcionan como elementos guías del puente para que este se mueva en línea recta a lo largo del eje Y.

4.- Puente

Es una estructura móvil que consiste de dos brazos, junto con el carril del eje X. El puente se mueve sobre los carriles del eje Y para realizar mediciones sobre este. El carril del eje X es la parte más alta de esta unidad y sirve como guía para que el carro se mueva en una línea recta a lo largo del eje X.

5.- Dispositivo de sujeción para palpadores

Se encuentra sobre el carril del eje Z y es el encargado de sujetar y nivelar los palpadores.

6.- Carril del eje "Z"

Es un carril ajustable que se mueve verticalmente en el carro para la realización de mediciones a lo largo del eje Z.

7.- Carro "XY"

Es una estructura que se mueve en el carril del eje X para realizar mediciones a lo largo de este. Contiene colchones de aire tanto para el carril del eje X, como para el carril del eje Y.

8.- Perilla de ajuste de contrapeso

Es la encargada de ajustar el cilindro de contrapeso, si existen variaciones en el peso de los palpadores.

9.- Frenos de los ejes X, Y, Z

Sirven para frenar o liberar los ejes de la máquina.

10.- Probador o palpador

Pueden ser mecánicos o de señal de contacto. Se emplean para registrar todos los puntos necesarios de la pieza a verificar.

11.- Monitor

Un monitor generalmente monocromático. Proporciona caracteres grandes y de fácil lectura. A través del monitor, es posible leer mediciones, menús y alarmas propias de la máquina.

12.- Mesa o banco

Sostiene a la máquina, al gabinete electrónico, a la unidad de suministro de aire y al monitor.

13.- Pluma electrónica

Se emplea conjuntamente con el monitor para la entrada de datos y selección de menús.

14.- Gabinete general

Se encuentra montado en la mesa. En él se encuentra un CPU y la unidad de suministro de energía eléctrica.

15.- Unidad de suministro de aire

Proporciona y distribuye aire a los diferentes colchones para un movimiento suave y libre de fricción del puente, carro y carril del eje Z a lo largo de sus diferentes trayectorias.

16.- Colchones de aire

Proporcionan un movimiento libre de fricción al puente, carro y carril del eje Z a lo largo de sus diferentes trayectorias.

17.- Sistema de medición

Sistema óptico eléctrico capaz de enviar señales electrónicas al CPU para procesarlas y posteriormente visualizarlas en el monitor.

18.- Niveladores de la máquina

Son tres placas con sus respectivos tornillos que sirven para aislar a la máquina de vibraciones, así como para nivelarla.

19.- Pernos de apoyo

Son dos pernos que evitan que la máquina se desnivele, en caso de que la carga sobre la mesa de granito no se encuentre distribuida.

20.- Niveladores de la mesa de granito

Son tres bolas y tres tornillos colocados en la parte superior de la base que proporcionan apoyo a la mesa de granito.

21.- Controlador manual

Se emplea conjuntamente con palpadores mecánicos para hacer mediciones, además enciende y apaga a los palpadores de señal de contacto. Provisto de una tecla que cumple con la misma función de la tecla "ENTER" de cualquier computadora.

22.- Módulo de memoria

Se conecta al gabinete electrónico. Su función es la de almacenar datos y/o programas.

23.- Perilla de ajuste preciso

Permite el perfecto ajuste de cada uno de los tres ejes de la máquina.

Los últimos avances tecnológicos en máquinas de medición tridimensionales, incorporan una mayor capacidad del microprocesador con bloques de funciones de medición preprogramadas que facilitan una programación interactiva de la máquina y el personal sin ninguna preparación informática; módulo de comunicaciones con una red de ordenadores; alineación automática de las piezas a medir y nuevos palpadores electrónicos.

La estructura de las máquinas permite el movimiento del brazo dentro de un sistema cartesiano de coordenadas XYZ. Pueden clasificarse por la posición horizontal o vertical del brazo portapalpador.

Los palpadores pueden ser rígidos, especialmente diseñados para acoplarse o engranar con una pieza sin embargo los más utilizados son los flexibles que pueden deformarse ligeramente en una o más direcciones al contactar con la superficie de la pieza a medir. Se puede regular la presión de contacto y el palpador envía información de la deformación sufrida.

La selección del palpador, de acuerdo a la labor de medición que se va a desarrollar, es la clave para obtener el mejor resultado del funcionamiento de la CMM. La exactitud de la medición y la eficiencia de la máquina dependen mucho del palpador seleccionado, por ello existen fundamentalmente:

a) **Los palpadores mecánicos** pueden ser de punta de bola, cónicos, cilíndricos, universales o para propósitos especiales. Los palpadores de bola, son los considerados como estándar por el número de aplicaciones a las que es útil, la bola es fabricada de carburo de 2 a 10 mm de diámetro. Los cónicos y cilíndricos son para determinar la localización de agujeros y para medir placas, determinan únicamente coordenadas bidimensionales, por lo cual, las superficies a medir deben estar previamente niveladas. Los palpadores universales tienen una punta de bola, cuya orientación puede ser cambiada para medir caras laterales o inclinadas de una pieza de trabajo. Los de propósitos especiales pueden tener varias formas, por ejemplo, con punta semiesférica para medir contornos de superficies, con zanco largo para medir agujeros profundos, etc.

b) **Los palpadores de señal de contacto** son dispositivos altamente sensitivos al tacto que generan una señal inmediatamente después de un contacto con la pieza a verificar. Son elementos pequeños y de construcción muy precisa. Existen varios tipos de palpadores de señal, algunos de ellos se mencionan a continuación. Los palpadores de barrido, que son palpadores de detección tipo contacto provisto de un cojinete de aire, el desplazamiento de la punta es retroalimentado al sistema de la CMM, permitiendo una medición de barrido de las superficies de las piezas. El palpador de señal de contacto de 3D, detecta a través de su cabeza los desplazamientos de la punta en las tres direcciones X, Y, Z. El palpador de baja fuerza de medición realiza mediciones ejerciendo una fuerza de medición pequeña y es usado para piezas de trabajo suaves o elásticas que pueden ser deformadas por la fuerza de palpación normal.

c) El palpador electrónico flexible unidireccional, permite efectuar mediciones estáticas, puestas a cero del palpador en cada punto, o mediciones dinámicas en las que a las coordenadas de la máquina añaden las deformaciones del palpador, es decir, ofrecen las siguientes ventajas:

1) Incorpora las funciones de los palpadores laterales y axiales, por tanto, se elimina la necesidad de cambio de palpador.

2) Las bajas presiones de contacto favorecen la precisión y repetibilidad de los resultados.

3) El palpador puede completarse con gran variedad de estiletes para acceder a distintos puntos de la pieza sin necesidad de moverla de su posición en la mesa. Para permitir el cambio sencillo de estiletes cada uno de ellos se calibra en coordenadas esféricas antes de las mediciones.

Últimamente se suministran también palpadores de dos ejes que permiten el posicionado del palpador en cinco coordenadas, las tres de desplazamiento y dos de orientación.

II.3 FUNCIONAMIENTO DE UNA CMM

El funcionamiento de una máquina de medición por coordenadas se puede explicar dividiendo sus funciones, como a continuación se describe:

1.- Alineación del eje y del plano

Es necesario que el plano de referencia este paralelo con la superficie de la mesa de verificación, así como el eje de referencia de la pieza tiene que estar alineado con la dirección de la medición, es por eso que el CPU de la máquina de coordenadas efectúa los alineamientos establecidos en un sistema de coordenadas de la pieza, quedando así siempre fija.

2.- Punto medio

Antes que nada el CPU de la máquina emplea comandos para especificar los tipos de medición que se van a realizar, como es el caso de ángulos, diámetros, etc. Cada comando requiere que un número determinado de puntos sea introducido en la máquina para que la misma haga un balance y determine un punto específico conocido como punto medio.

3.- Plano y eje de referencia

El plano de referencia de una pieza de trabajo corresponde al plano de proyección de un dibujo de ingeniería; sirve como el plano base hacia el cual los puntos introducidos son proyectados para tipos específicos de procesamiento de datos. Si se pretende determinar el diámetro del barreno de una pieza cuyo plano de referencia se encuentre en el plano XY, cualquier punto medio en torno a la circunferencia del barreno será proyectado al plano mencionado sin importar el eje Z.

4.- Entrada del punto falso

El punto falso se registra en el espacio para poder especificar la dirección de compensación del radio palpador. La dirección de compensación es opuesta a la dirección del punto falso.

5.- Sistema de coordenadas

a) "Sistema de coordenadas de la máquina" está formado por los ejes X, Y, Z de la CMM en sí misma y se usa como referencia para determinar el desplazamiento a lo largo de cada eje de la máquina, almacenamiento de los datos de las coordenadas en el CPU y operaciones de control numérico.

b) "Sistema de coordenadas de la pieza" que se define mediante la medición de las superficies a verificar y se establece de una forma independiente al sistema de coordenadas de la máquina empleando la superficie de referencia de la pieza de trabajo.

6.- Origen de referencia

El origen de la máquina se determina automáticamente en el centro del palpador en el momento en que la máquina empieza a funcionar.

7.- Modo de aprendizaje

Este modo mejor conocido como modo de repetición, tiene la función de almacenar un programa que describe a una pieza dentro de un archivo con una serie de operaciones secuenciales que son usadas para medir la pieza de trabajo, siendo de gran utilidad cuando se ejecutan mediciones repetidas de una pieza de un mismo lado.

8.- Modo de repetición

Aquí los procedimientos de medición han sido guardados como programas que describen a las piezas y cuando son llamados mediante una instrucción ejecutan el programa tal y como se guardó.

9.- Función de edición

Esta función se usa para modificar un programa existente de una pieza en el archivo previamente creado o bien, crea procedimientos de medición del teclado sin ejecutar realmente las mediciones.

10.- Calibración del palpador

Con el fin de asegurar que las mediciones sean exactas, se calibra el diámetro de la bola del palpador bajo las mismas condiciones en que la pieza está expuesta durante la medición, esto puede hacerse mediante un bloque de calibración midiendo tanto su cara interna como la externa o bien, mediante una esfera maestra, la cual permanece fija a la máquina.

II.4 MODOS DE OPERACIÓN DE UNA CMM

Los modos de operación determinan la manera o los procedimientos que son posibles para la medición y son principalmente:

Medición manual, el operador mueve libremente el palpador entre los puntos deseados y lee los desplazamientos en un monitor o visualizador digital.

Medición asistida por computadora, el palpador es desplazado manualmente por el operador pero los datos de coordenadas son procesados por la computadora y así facilita el obtener cotas absolutas, relativas y tolerancias.

Medición por control numérico, se programan los desplazamientos del palpador y el sistema de control numérico lo desplaza a los puntos establecidos. Comprueba las coordenadas reales y las compara con las programadas.

Digitalización, el palpador se mueve siempre en contacto con la superficie de la pieza según una trayectoria preestablecida y envía la información de las coordenadas en intervalos de tiempo muy breves.

La computadora registra los puntos y compara con la pieza patrón para detectar las desviaciones. Este sistema permite detectar y comprobar formas geométricas cualesquiera de las superficies de los cuerpos.

Las trayectorias programables son en general: punto a punto, paralelas a un eje, línea continua, cualquiera conseguida a base de velocidad variable en los servomotores de cada eje, y trayectoria de seguimiento en la que el palpador controla el movimiento en uno o dos ejes, mientras los otros son controlados arbitrariamente. Esta última trayectoria se utiliza para la digitalización.

La medición por control numérico, es la solución más económica para la medición repetitiva de una misma pieza, permite una automatización total de la inspección. Si la colocación de la pieza sobre la mesa se efectúa con un utillaje que determine unívocamente su posición con respecto a un origen fijo de coordenadas al que se referencia también el programa del controlador.

Si no se dispone de utillaje de posicionamiento de la pieza, antes de empezar cada ciclo de medición debe definirse la situación de la pieza. En general será suficiente con posicionar manualmente tres puntos de la pieza para que el programa pueda referenciarla respecto a sus ejes de coordenadas.

El operario utiliza un panel de operación para comunicarse con el sistema. Con él puede desplazar el palpador en todas las direcciones a la velocidad deseada. El palpador está protegido contra la colisión a cualquier velocidad de desplazamiento. Puede seleccionar el estilo deseado, contestar a las preguntas del sistema interactivo de comunicación con el procesador, introducir modo de operación, y llamar rutinas de medición.

II.5 MODOS DE PROGRAMACIÓN DE UNA CMM

Para poder llevar a cabo la operación de la programación se utilizan dos sistemas:

El guiado manual o aprendizaje, el operario sitúa el palpador en los puntos de medición y, si es preciso, en el recorrido intercala puntos intermedios para evitar la colisión del palpador con la pieza. Una vez verificada la primera pieza, el programa queda listo para su utilización.

Programación de la pieza en este tipo de programación se establece un modelo geométrico de la pieza a medir y las trayectorias a seguir por el palpador, de una forma parecida a la programación del control numérico

El APT es uno de los lenguajes utilizados. Otros fabricantes incluyen en sus sistemas unos sencillos lenguajes de programación interactiva en los que el usuario define la secuencia de medición y los puntos de contacto o puntos a medir. Cuando se trata de medir una forma geométrica determinada; círculo, esfera, elipse, etc.; se dispone de subrutinas que calculan automáticamente los puntos intermedios. La programación se puede efectuar fuera de línea y permite efectuar una comprobación del programa previo a su incorporación a la máquina facilitando un informe completo del valor de las cotas cuya medición se ha programado.

El programa puede así prepararse en la oficina antes de que la pieza esté fabricada. Si alguna parte de la pieza es difícil de definir y programar se puede dejar pendiente y completarla mediante programación por guiado sobre la primera pieza

Las rutinas de edición facilitan la modificación y actualización de los programas existentes, son muy sencillas y constan de funciones que permiten:

Rutinas para la medición de figuras geométricas regulares de forma que al especificar una de ellas el programa la ajusta a la nube de puntos medida por el método de mínimos cuadrados, y calcula las desviaciones de cada punto respecto a este perfil ideal.

Posibilidad de programar los puntos de la pieza sin necesidad de tener que calcular el desplazamiento debido al estilite empleado. La máquina calcula automáticamente la posición del portapalpador restando las coordenadas del punto y las dimensiones del estilite.

Efectuar traslaciones, rotaciones, simetrías, intersecciones para definir nuevas figuras a medir. Para la definición de puntos, rectas, planos, círculos, etc., puede utilizarse en general todo tipo de definición geométrica. Por ejemplo una línea puede definirse por una sucesión de puntos, por paralelismo, por perpendicularidad, por intersección de planos, etc.

Sistemas de transformación de coordenadas que permiten trabajar en cada elemento a medir con los ejes de referencia más adecuados y posibilitan también el que no sea necesaria la alineación de la pieza en la mesa de trabajo, dado que en todo momento se puede referir el sistema de coordenadas de la pieza al de la máquina. Es decir, primero mide con respecto a unos ejes definidos de la pieza y después los alinea con los ejes de la máquina. Incluso se puede transformar a coordenadas polares y cilíndricas.

Los programas de evaluación de la medida facilitan, en general, una salida en impresora de las desviaciones en forma y posición como rectitud, cuadratura, curvatura, rectangularidad, paralelismo, perpendicularidad, simetría, coaxialidad, concentricidad, planitud, esfericidad, etc. Se dispone también de plotters o de pantallas para la representación gráfica de las desviaciones amplificando las mismas a la escala deseada. Si se dispone de colores se logra una mayor claridad en las figuras.

Otra faceta importante son los programas para medición de un tipo específico de piezas como levas, engranes, curvas en dos y tres dimensiones, superficies, etc.

Programas de medición, establecidos para la medición de contornos, rutinas de alineación (traslado del origen a un punto específico, rotación de origen, etc.), rutinas de medición de elementos (puntos, líneas, círculos, etc.), medición de distancias, ángulos, desviación de forma (esfericidad, conicidad, cilindridad, etc.), orientaciones (paralelismo, perpendicularidad, etc.), intersecciones entre líneas, o bien, programas para calibrar el palpador.

Programas de procesamiento de datos medidos, son programas de procesamiento estadístico de la información producto de las mediciones efectuadas que permiten realizar estudios de tendencias y correlaciones como desviaciones estándar, media, polígonos de frecuencia y en general la mayoría de las funciones estadísticas que son útiles al realizar nuevas mediciones, para un mejor ajuste de los parámetros de mecanizado y para los programas de generación de certificados de inspección.

II.6 CONSIDERACIONES PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA CMM

Las condiciones ambientales afectan a las mediciones de la CMM en términos de exactitud, eficiencia en la medición y mantenimiento, por ello para un funcionamiento óptimo es necesario tener un ambiente controlado en el área de trabajo de la máquina

Temperatura y Humedad relativa: la estabilidad absoluta de las dimensiones de una pieza no estará asegurada ni aun en los elementos que aparentemente son estables como las rocas; los cambios de temperatura y las variaciones en la humedad afectan por ejemplo la geometría de las mesas de planitud de granito, tienen efectos directos como expansión y contracción térmica afectando directamente las dimensiones de los productos

La International Standard Organization (ISO) recomienda una humedad relativa permisible del 60 al 70% y un intervalo de temperatura entre los 18 y 22° C, pero para mantenerse dentro de los límites de $\pm 5\%$ en humedad relativa, el cambio de temperatura del aire al circular por el recinto normalmente deberá ser del 1%

Normalmente se recomienda trabajar a una temperatura de 20 °C y con una humedad relativa alrededor de 50% con el fin de evitar la formación de óxidos en las superficies ferrosas con acabados superficiales finos.

Por otro lado, la CMM, los accesorios normales, los instrumentos de medición y la pieza que se medirá, deberán estar por lo menos 24 horas antes en el ambiente donde se llevará a cabo la prueba

Polvo; la filtración del aire no es un requisito indispensable, pero debe considerarse como una condición contribuyente a la exactitud de las mediciones. En las mediciones de fracciones de micrómetro, como la que es capaz de realizar la CMM, por ejemplo, se requiere la filtración de partículas de hasta 0.5 micrómetros

Las partículas mayores de 10 micrómetros son las que tienden a depositarse por gravedad, para tener el control pueden usarse filtros secos o de tipo viscoso en los ductos de entrada de aire y mejorarse a través de filtros de recirculación localizados en el interior del recinto controlado los cuales servirán para eliminar el polvo generado internamente.

Vibraciones, el mejor seguro contra las vibraciones es la ubicación de la CMM. Si no se pueden evitar las vibraciones, se deberán aislar los instrumentos utilizando dispositivos o lechos antivibratorios, los cuales son usualmente adecuados para la mayoría de las mediciones. Otro método de amortiguamiento empleado con frecuencia, es colocar los instrumentos sobre una plataforma relativamente pesada, tal como una placa de acero, la cual a su vez esta soportada en colchones de hulo parcialmente inflados que descansan sobre el banco de trabajo.

Si se encuentra que los dispositivos de amortiguamiento comerciales no son satisfactorios, puede ser necesario el diseño propio, asegurándose que tenga una frecuencia natural inferior a dos hertz.

Las tolerancias permisibles para la variación, dependen del tipo de instrumento de medición, así como la naturaleza de la propia medición; para la CMM se acepta frecuentemente que las aceleraciones lleguen hasta 0.002 de gravedad.

Las frecuencias que afectan en el laboratorio deberán ser de preferencia bajas. Otra buena solución para evitar vibraciones consiste en la colocación en todo el suelo de una caja o loza de concreto de por lo menos 25 cm de espesor, separada en bloques de menos de 2 m. de ancho por bandas de madera u otro material similar que absorba las vibraciones existentes.

Los parámetros básicos a considerar en la selección de una máquina de medición por coordenadas son:

- Dimensiones XYZ del campo de medición.
- Precisión, resolución y repetibilidad.
- Número de ejes.
- Tipo de palpador y posibilidades de acoplamiento de estilotes.
- Trayectorias programables.
- Tipo de control.
- Alineación automática de la pieza.
- Tipos de programación, lenguajes y facilidades.
- Comunicaciones.

Además de considerar cada vez que las nuevas generaciones de mesas de medición, gracias a los avances tecnológicos de hoy, han tratado de abarcar y perfeccionar los parámetros mencionados, implementando cada vez más el uso de sensores de posición independientes de los palpadores, microcircuitos, lenguajes de programación accesibles con instrucciones concretas y significativamente más capacidad de memoria en los centros de mando o unidades de procesamiento de datos que permiten hacer más rápido los cálculos, independientemente del número de factores que intervengan.

II.7 CASO DE APLICACIÓN

Para la obtención de los planos así como las dimensiones correspondientes a la pieza que hemos elegido, hacemos uso de una Máquina de Medición por Coordenadas (CMM), en especial la CMM que se encuentra en el Laboratorio de Mediciones Mecánicas del Departamento de Ingeniería Mecánica, de la Facultad.

El procedimiento para efectuar la medición del impulsor de la bomba centrífuga que ya hemos referido anteriormente, se describe a continuación, de manera simultánea los procedimientos para obtener los planos de la misma pieza, utilizando la CMM así como los periféricos de hardware o accesorios que le son propios.

Existen factores importantes de prever para cuidar el buen funcionamiento de la CMM, ya que se considera como un equipo de uso delicado, tales como:

- 1.- Asegurarse de que exista energía eléctrica.
- 2.- Asegurarse que los interruptores de aire para los tres ejes de movimiento que tiene la CMM (X,Y,Z) estén desactivados para evitar accidentes.
- 3.- Asegurarse que la línea de aire esté cargada y con un estado de presión igual a 4 Bars. (Constante).
- 4.- Asegurarse de tener instalado el portapalador así como el palpador.
- 5.- Asegurarse de haber conectado el cable del palpador a la CMM.

Ya descritos los pasos anteriores, lo principal es contar con la pieza físicamente y proceder a fijar el modelo (impulsor) sobre la mesa de grafito con tornillería, barras de acero y accesorios de la mesa para evitar que durante el transcurso de la operación o medición, corra el modelo riesgo de moverse ocasionando posibles errores en las mediciones, y por consiguiente en los planos; esto debido a que existe una relación directa tipo interfases con el CPU de la computadora que contiene el software de diseño (Cadkey) para la realización de los dibujos, mediante instrucciones precisas que relacionan lo que está midiendo la CMM y lo que aparece en la pantalla de la computadora.

Existe una secuencia establecida para el correcto uso del equipo que asegura que el método que estamos empleando sea preciso, tal secuencia se explica a continuación y una vez que reunimos todos los elementos necesarios, procedemos a prender la CMM por medio de un regulador de energía eléctrica; para que la descripción de la utilización de la máquina quede de manera explícita, se establecieron etapas de operación

Para la primera etapa, debe aparecer prendido el monitor que despliega una pantalla que indica elegir el idioma, tipo de palpador y las unidades de medición que manejará la CMM en las operaciones correspondientes, todas las pantallas que aparecen en el monitor tienen su menú de opciones, utilizando ese menú finalizamos la primera etapa.

La segunda etapa (nueva pantalla), consiste en llevar a cabo la calibración del palpador, es decir determinar el diámetro del palpador para que las mediciones sean precisas y no tener posibles errores, para determinar el diámetro del palpador, la pantalla pide cuatro contactos mínimo del palpador con la esfera metálica de referencia o patrón, aquí cabe señalar que los contactos para las mediciones son completamente manuales, para ello es necesario que el operario dirija el palpador hasta hacer un ligero contacto con la superficie que se este midiendo, teniendo cuidado de no hacerlo de manera brusca.

Para evitar que se lastime el palpador, tiene la propiedad de emitir un beep al momento del contacto con la superficie del modelo, indicando que el dato (coordenadas) de la posición del contacto ha sido registrado por el CPU de la máquina.

Efectuados los cuatro contactos como mínimo (es conveniente tener más de cuatro contactos para hacer precisa la medición), se procede a dar enterada o "Enter" a los datos, de tal forma que el CPU de la computadora procesa la información para finalmente obtener las dimensiones de la geometría que estamos midiendo.

Como resultado de la operación anterior, se obtuvo que el palpador tiene un diámetro de 1.9922 [mm] además es curioso observar que en otras ocasiones, tal vez por el factor de temperatura dentro del recinto donde se encuentra la CMM obtuvimos un valor diferente igual a 1.9856 [mm] aclarando que se trata del mismo palpador, ya que es el único disponible para trabajar, pues existen otros palpadores pero estos están incompletos porque les hace falta algún accesorio, lo que nos ha limitado en cuanto a la flexibilidad de hacer mediciones y por consiguiente en el desarrollo del presente trabajo

La tercera etapa consiste en elegir dentro de la pantalla del monitor, una geometría, la más parecida a la que se va a dimensionar, pues en la pantalla se observa un menú con diferentes geometrías y se seleccionan por medio de la pluma electrónica que al hacer contacto con el monitor y presionar directamente donde se encuentra la geometría deseada es aceptada la operación y de acuerdo a la complejidad de la geometría seleccionada, el CPU de la CMM pide un número mínimo de contactos necesarios para efectuar el cálculo de la geometría escogida, una vez efectuados los contactos necesarios es decir, el número de puntos solicitados y mejor aún si son más, el CPU procesa los datos introducidos para obtener las dimensiones correspondientes de la geometría citada con un error de hasta diez milésimas de milímetro, es por ello que se considera muy precisa para la aplicación que pretendemos, tal vez para otra clase de especificaciones se requieran lecturas más precisas.

Por cada geometría de nuestro modelo que sea diferente se repite esta misma etapa, desde la elección de la misma en la pantalla del monitor.

La cuarta y última etapa es la obtención de los dibujos de las diferentes geometrías dimensionadas correspondientes al modelo que escogimos, para darle forma al plano que describe a nuestro modelo, por medio del software de diseño que tiene la computadora y de la interfase con la mesa de medición que facilita la obtención del plano mencionado.

En la Figura 2.2 se muestra el arreglo de conexiones de la CMM utilizada para la digitalización del impulsor:

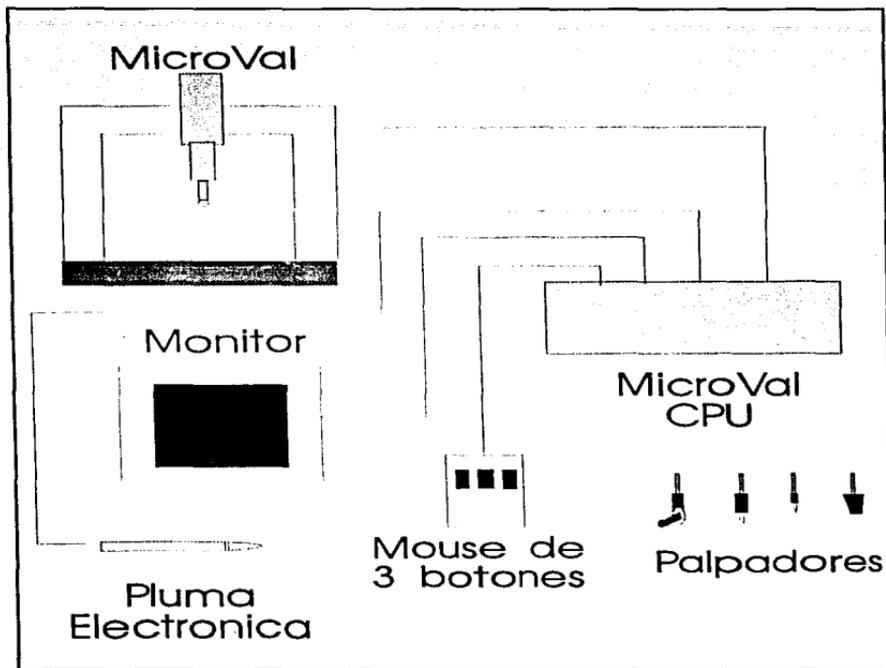


Figura 2.2 Arreglo de conexiones utilizado

Siguiendo con la descripción de la CMM con lo que respecta al Hardware y sus especificaciones tenemos que:

CONCEPTOS

Marca
Modelo
Tipo de CMM

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Estructura
Conductos de aire
Superficie de trabajo
Accesorios
Palpadores

Filtro y reguladores de aire
Seguros de ejes
Pluma electrónica

OPCIONALES

Palpadores
Computadora
Impresora
Monitor a color
Mesa de mando

CARACTERÍSTICAS

Brown & Sharpe
Microval
Puente vertical

Aluminio colado
Aluminio
Granito negro
Acero inoxidable
Carburo

Neumáticos
Neumáticos
A escoger

Los datos técnicos de la misma CMM SON:

DIMENSIONES DE LA MÁQUINA

Rango de medición

X ... 356 mm (14")
Y406 mm (16")
Z.....305 mm (12")

Capacidad de trabajo

X....457 mm (18")
Y....610 mm (24")
Z....381 mm (15")

Dimensiones en general

Largo.....743 mm (29.25")
Ancho.....730 mm (28.75")
Altura.....1340 mm (52.75")

PESOS DEL HARDWARE

CMM.....149 kg
Sistema completo.....168 kg
Peso máximo del modelo a medir.....68 kg

ESPECIFICACIONES DE MEDICIONES

Precisión bajo condiciones de temperatura de 68 +/- 2 °F

Exactitud lineal0.006 mm (0.00024")
Repetibilidad.....0.004 mm (0.00016")
Resolución.....0.0005 mm (0.00002")

REQUERIMIENTOS DE FUNCIONAMIENTO

Rango de temperatura el recinto.....10 a 40 °C
Mínima presión de aire.....4.0 Bar
Consumo de aire.....a 3.8 Bar, 45 L/min
Energía eléctrica.....90-240 VAC, 50/60 Hz
Consumo de energía eléctrica.....190 Watts. Máximo.



Foto 1. Seguros neumáticos de los tres ejes

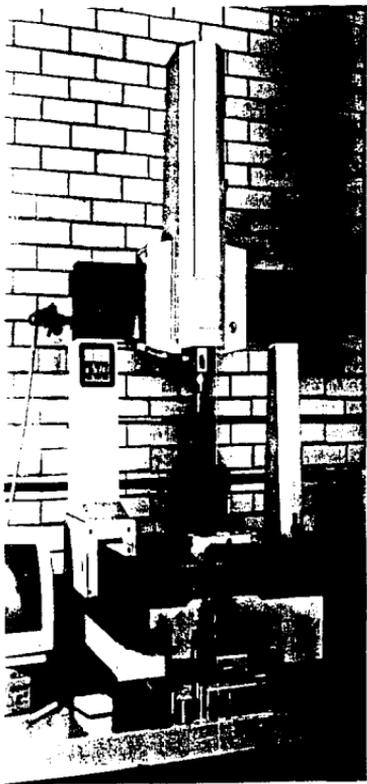


Foto 2. CMM con herramienta

Para dar idea de forma más específica de la CMM utilizada, podemos observar en las fotografías de la 1 a la 4, el equipo completo

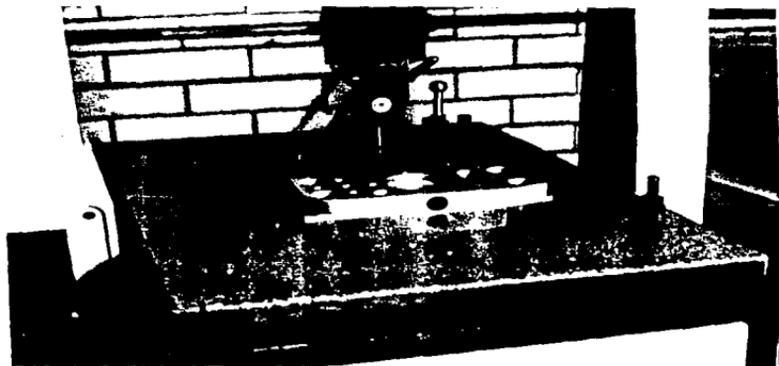


Foto 3. Mesa de trabajo, Teclado y Mouse, para hacer mediciones.

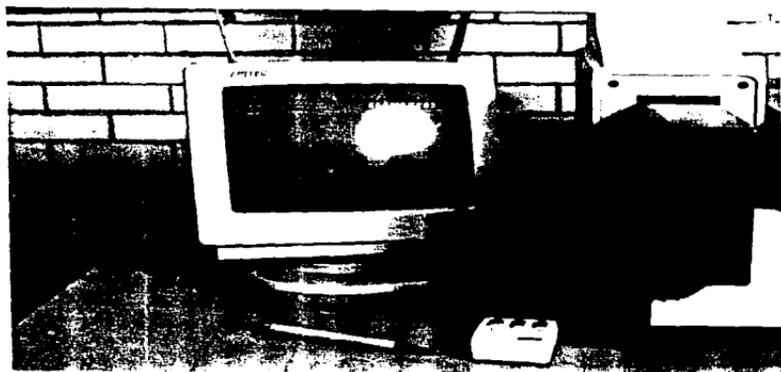


Foto 4. Monitor, pluma electrónica y mouse integrado.

CAPITULO III

CAD - CAE - CAM

III.1 INTRODUCCIÓN

Con la evolución industrial de la década de los ochentas, se ha incrementado el uso de nuevas tecnologías para la producción y gestión de los procesos productivos a fin de obtener resultados positivos, muy a pesar de la variedad y complejidad de la problemática industrial que entre otros comprende los siguientes niveles:

A nivel mercado: competencia cada día mayor y con expectativas a nivel mundial; una mayor tecnificación y personalización de la demanda que busca cubrir las necesidades particulares de cada aplicación con la solución más adecuada; una exigencia de calidad "cero defectos".

A nivel producto: una oferta continua de mejores prestaciones; una gran variedad de modelos a partir de un núcleo básico; una rápida obsolescencia.

A nivel tecnología: una evolución muy rápida que acorta notablemente la vida del producto y exige por tanto una gran flexibilidad y rapidez de respuesta para la puesta a punto de nuevos modelos y, por otro lado, devalúa los conocimientos o el know-how disponible para obligar a una intensa labor de formación y experimentación en las nuevas tecnologías.

A nivel recursos: un notable encarecimiento de costos de materiales, personal y financieros lo que conduce a un aprovechamiento mayor hasta el límite de los recursos propios.

Para responder a estas necesidades del mercado, la industria:

- Mejora su oferta con una gama más amplia de productos, con más prestaciones, calidad y fiabilidad.
- Reduce costos a través de técnicas depuradas de fabricación, así como la reducción del gasto de todo recurso, material, equipos, tiempo, espacio, dinero y mano de obra por encima del mínimo necesario para añadir valor al producto.
- Mejora la gestión incorporando nuevas técnicas de análisis y planificación tecnológica, industrial y financiera e introduciendo nuevos métodos y procedimientos en todas las áreas de la empresa.

Estos métodos y nuevos procedimientos se apoyan en gran medida en uso extensivo e intensivo de la computadora para conseguir la automatización de todo proceso productivo, así como la integración de la información en una base de datos fácilmente accesible a todos los niveles.

III.2 CAD - CAE - CAM

El proceso de diseño, requiere la asistencia de todo un sistema CAD-CAM. (Diseño y Manufactura asistido por computadora), actualmente CAD-CAM es quizás el desarrollo más importante de las nuevas tecnologías, para ingenieros, diseñadores y técnicos de todas las especialidades. Los elementos que componen el término CAD-CAM son muy significativos para cada rama de la ingeniería moderna, desde la industria mecánica pesada a la microelectrónica, por otro lado CAD se aplica cada vez más, en todos los campos de la ingeniería, siendo CAD-CAM una herramienta muy importante para el desarrollo del proceso de la Ingeniería Inversa.

Los paquetes de software para CAD-CAE-CAM desde su aparición se han distinguido principalmente porque involucran una área de trabajo muy extensa, desde el diseño hasta la simulación, sin contar las librerías contenidas en CD-ROM, que son altamente eficientes ya que consideran muchas alternativas de análisis, y con ello se logra simplificar el proceso de resolver un problema pasando de lo general a lo específico, como consecuencia del desarrollo tecnológico de las últimas décadas, tenemos mayores y mejores resultados en los ensayos, sin dejar pasar que los usuarios interesados deben considerar de manera importante, tratar de ser personas mejor capacitadas para el manejo de los paquetes porque de ello depende la buena interpretación de los resultados. Actualmente los procesos CAD-CAE-CAM son fundamentales para simular y controlar las condiciones de trabajo, bajo las cuales se desarrolla un proyecto.

En concreto CAD tiene las siguientes ventajas:

- ✓ Al utilizar un sistema CAD para la elaboración de dibujos, estos se pueden realizar en promedio tres veces más rápido que haciéndolos por métodos convencionales, acelerando la velocidad total del proceso y por tanto bajando el costo de producción.
- ✓ La precisión de un dibujo con el uso de un paquete CAD es mucho mayor que con el método tradicional, ya que estos tipos de paquetes contienen técnicas de acercamiento por medio de las cuales las partes del dibujo se pueden mostrar mucho más detalladas. Por tanto los dibujos generales como sus detalles son mejores y más precisos elaborándolos en un paquete CAD.
- ✓ Los dibujos realizados son producidos con líneas y textos de excelente calidad independientemente del operario del paquete, además permite eliminar rápidamente cualquier número de líneas sin dejar ninguna señal en el dibujo final.
- ✓ Una gran ventaja del CAD es que al ser guardado el dibujo en memoria se puede cargar nuevamente para hacer las correcciones necesarias, o bien si es preciso realizar algún otro dibujo similar se toma como base el primero y se le hacen las modificaciones pertinentes.
- ✓ Las técnicas de análisis y de simulación CAD pueden ahorrar drásticamente el dinero y tiempo invertidos en el desarrollo y en las pruebas de prototipos.

A continuación en la Figura 3.1 se puede ver las pantallas de un modelador de sólidos, que permite crear partes, ensambles y dibujos en forma más fácil y rápida. Permite el manejo de varias vistas simultáneas en pantalla y es sumamente accesible para su uso, los nombres del software existentes en el mercado son Solid Edge, CADMAX True Surf 7.0 y SolidWorks compatibles todos ellos con Windows 95 de Microsoft.

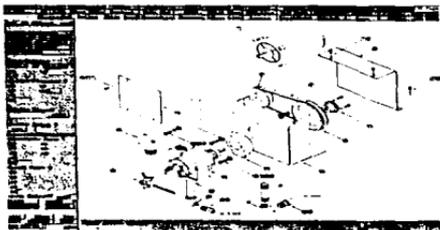


Figura 3.1 Software CAD

Los procesos de CAD-CAM en la actualidad son muy flexibles por ello coexiste el riesgo de diseñar productos inútiles o que sencillamente no se puedan fabricar, para dar solución a este problema existe el CAE que se encarga del análisis y de la simulación o modelado en tres dimensiones (3D) para que el proyecto sea factible y pueda desarrollarse.

Numerically Integrated Elements for System Analysis conocido como CAE NISA es un de los paquetes de software de ingeniería que se ha desarrollado y que tiene una importante aplicación en laboratorios de mecánica así como en la industria, su funcionamiento considera tres módulos con tareas específicas.

a) Módulo de pre-procesamiento, el cual construye inicialmente la geometría del modelo considerando forma, tamaño, espesores, acabados, etc. para llevar a cabo la generación del modelo de elementos finitos, es decir, la discretización del medio continuo en elementos finitos que simulan el comportamiento del modelo real bajo diferentes condiciones de operación, además considera las propiedades físicas de los materiales del modelo así como el tipo de restricciones a las que estará sujeto.

b) Módulo de análisis por medio del elemento finito, aprovecha la generación del modelo en el módulo anterior para buscar la solución (estática, dinámica, de transferencia de energía, etc.) a los problemas planteados. Intermittentemente el programa hace una revisión y ordenamiento de los datos para obtener una matriz que represente al sistema y que pueda definir el vector de cargas (presiones, cargas térmicas o fuerzas de cuerpo) para los elementos del modelo.

c) Módulo de post-procesamiento, se considera la etapa más atractiva porque aquí se observan los resultados del análisis, permite graficar las deformaciones y los esfuerzos modelados según los resultados del ensayo, tiene la capacidad de visualizar por medio del monitor cualquier ángulo, proyección o vista específica incluyendo acercamientos por medio de ventanas, definiendo títulos o cambiándolos, tiene la capacidad de comparar los modelos antes y después de la simulación del ensayo, esta simulación o animación del ensayo permite comprobar los posibles resultados.

El software para CAE tiene la capacidad de simular el proceso de diseño, análisis ingenieril y manufactura, lo cual es representado en la secuencia de la Figura 3.2



DISIÑO



ANÁLISIS



MANUFACTURA

Figura 3.2 Facetas del software CAE NISA.

CAM se refiere a cualquiera de los procesos de fabricación automática que estén controlados por una computadora, como los sistemas de manufactura flexibles FMS, la manufactura integrada por computadora CIM, etc., la manufactura asistida por computadora se encarga básicamente de estudiar los aspectos ingenieriles y económicos y en base a la experiencia sus principales ventajas están relacionadas con el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- ✓ Niveles de producción más altos con menor esfuerzo laboral
- ✓ Menor posibilidad de error humano y de las consecuencias de su falta de confiabilidad.
- ✓ Mayor versatilidad de los objetos fabricados
- ✓ Ahorro de costos por incremento de la eficiencia de fabricación (es decir, menor material estropeado) e incremento de la eficiencia en el almacenamiento y ensamblaje.
- ✓ Repetibilidad de los procesos de fabricación a través del almacenamiento de los datos
- ✓ Productos de mayor calidad

Los elementos más importantes del CAM son: técnicas de programación y de fabricación CNC, fabricación y ensamblaje mediante robots controlados por computadora, sistemas de fabricación flexibles FMS, técnicas de inspección asistidas por computadora CAI y a las técnicas de ensayo asistidas por computadora CAT.

Las herramientas principales de CAM básicamente es una computadora y un centro de maquinado o una máquina-herramienta con Control Numérico (Figura 3.3), que nos brinda una flexibilidad importante en el proceso de manufactura.

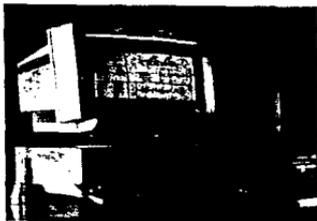


Figura 3.3 La computadora contiene toda la información de la pieza a manufacturar incluyendo la simulación, dicha información la recibe el centro de maquinado y la ejecuta, obteniéndose la pieza diseñada.

En la Ingeniería para establecer "que producto fabricamos" mejor dicho para diseñar, modelar, desarrollar y especificar los nuevos productos se utilizan técnicas de CAD (Computer Aided Design) y de CAE (Computer Aided Engineering).

En producción, para definir "como fabricamos", es decir, estudiar procesos, instalaciones, máquinas, materiales, hombres necesarios para fabricar el producto, se busca introducir técnicas de CAM (Computer Aided Manufacturing), que engloba una serie de funciones destinadas a automatizar la Ingeniería del Proceso, los talleres y el control de la calidad a través de la introducción de microprocesadores en los elementos de producción y control.

En Gestión, incluimos todas las funciones tanto Financieras como de Personal, para que con ayuda de la computadora pueda dar paso a sistemas de gestión ágil, continuo y en gran parte automatizado.

La aplicación de las computadoras en las distintas funciones de producción es inminente y cobra mayor importancia día a día, la introducción de las tecnologías del CAD-CAE-CAM es una buena oportunidad para la integración de todas las funciones de producción, desde el diseño hasta la entrega del producto terminado pasando por todas las fases intermedias del proceso y cubriendo todas las funciones de gestión y de control. La pieza clave es la capacidad del CAD-CAE-CAM de gestionar una sola base de datos del producto con toda la información geométrica y alfanumérica asociada, entendiendo por "base de datos" la recopilación de toda la información sobre el producto junto con todo lo necesario para su fabricación. Si el producto es complejo y está formado por conjuntos, subconjuntos y piezas, cada una de ellas debe estar contenida en la base de datos con toda su información asociada.

El núcleo de la base de datos es el modelo geométrico del producto creado por Ingeniería sobre el que se basan los estudios y el desarrollo ingenieril, para obtener una especificación completa con formas, dimensiones, tolerancias, materiales, despieces y características que quedan reflejadas en la documentación emitida para la comercialización del producto en fichas técnicas, catálogos, libros de servicio y mantenimiento.

III.3 SITUACIÓN ACTUAL Y TENDENCIAS EN LA PRODUCCIÓN ASISTIDA POR COMPUTADORA.

El CAD puede considerarse una tecnología en plena aplicación dentro de la industria, con una integración total de las funciones de diseño desde las primeras fases de estudio, análisis, cálculo, simulación y pruebas, hasta la obtención de la documentación necesaria para la especificación del producto.

La aplicación del CAM es todavía menos amplia y en muchos casos reducida a funciones muy concretas. Sin embargo, a pesar de la situación político-económica aquí en México, la evolución del mercado de CAM presenta unos índices de crecimiento muy superiores al CAD, esto significa la plena incorporación de las computadoras dentro de todas las funciones de fabricación.

Pero la evolución tecnológica que se vislumbra a corto plazo por los programas de laboratorios de investigación y las realizaciones de las grandes empresas líderes en el desarrollo industrial, hace pensar que la tecnología actual no es más que el comienzo de una nueva Era Industrial, caracterizada por una automatización a todos los niveles.

La aplicación de técnicas de control adaptativo cada vez más potentes, permiten a las máquinas automáticas adaptarse a las condiciones cambiantes de su entorno, flexibilizando su rigidez actual. Se desarrollan nuevos sensores para dotar a las máquinas-herramientas de posibilidades de percepción similares a los sentidos humanos como visión, tacto, oído, que acoplados a potentes procesadores de datos y utilizando técnicas de Inteligencia Artificial permiten reconocer distintos estados o situaciones del entorno y actuar en consecuencia.

La aplicación de técnicas de fabricación "desatendida", es decir, sin operarios a pie de máquina para procesos de fabricación "por lotes", es ya una realidad, tanto en industrias electrónicas como en mecánicas, llamadas Células de Fabricación Flexible. Este sistema de organización en la fabricación parece que será el más ampliamente utilizado a fines de la década presente.

El desarrollo intensivo de Sistemas Expertos y de la Inteligencia Artificial en todas las áreas de producción, permitirá una mayor automatización de las funciones de diseño, ingeniería del proceso y gestión de producción. Actualmente existen aplicaciones para trabajos de diagnosis, mantenimiento, formación, etc. Por otro lado, permitirán el desarrollo de lenguajes de programación de más alto nivel, orientados más a la definición de tareas o funciones en un lenguaje similar al empleado por los técnicos para describirlas.

El procesador de la computadora desarrolla automáticamente todas las instrucciones a detalle que precisa para realizar una función o un ejercicio específico. Se ha desarrollado también con aplicaciones limitadas, la comunicación oral con el procesador. Este es capaz de interpretar las palabras clave que le dirige el programador y confeccionar el programa correspondiente. La posibilidad de interpretación de planos y textos introducidos en su unidad de procesamiento, es otra de las facetas de desarrollo que facilitará enormemente la comunicación con los procesadores.

Todas estas tecnologías englobadas en un concepto de organización tipo CIM, de integración mediante procesadores de todas las funciones de producción, permite crear la imagen de la "fábrica del futuro" totalmente automatizada, del tipo de las industrias de proceso continuo actuales, en la que la función del hombre se reduce a labores de mantenimiento y supervisión.

III.4 CASO DE APLICACIÓN

Una vez que las dimensiones correspondientes a nuestro modelo (producto o pieza) obtenidas a partir de la mesa de CMM, están debidamente definidas y especificadas, podemos iniciar el proceso de obtención del plano(s) según sea requerido.

Actualmente para diseñar planos de ingeniería o de fabricación se emplean las computadoras en conjunto con los paquetes de software como Autocad, CadKey's y otros que nos ahorran mucho tiempo por su gran versatilidad y flexibilidad de manejo al hacer correcciones o actualizar diseños anteriores guardados en archivos de computación, ya que anteriormente significaba mucho tiempo de trabajo sobre una mesa o restirador.

La obtención del plano es nuestro principal objetivo porque de ello dependen los procesos siguientes, es importante conocer las características y capacidades del software que utilizemos, ya que continuamente se actualizan y modernizan, sabiendo esto, la operación de dibujar en el programa es relativamente sencilla, los programas de diseño obedecen bajo funciones establecidas como trazar líneas, unir dos curvas mediante arcos de circunferencia, borrar intersecciones de dos o mas rectas (incluso curvas), copiar siluetas, agrupar líneas y curvas para dar forma a un dibujo, existe la posibilidad de aumentar letreros, acotaciones, márgenes y recuadros para dar el formato que requiera un dibujo y de manera mas detallada un plano con sus tablas de datos técnicos.

Conociendo las dimensiones de lo que queremos dibujar, que en este caso se trata del impulsor cuya geometría por ser irregular, aumento la dificultad de la elaboración del plano, pues básicamente las dimensiones a las que se hace referencia son coordenadas en el espacio X, Y, Z (ver Figura 3.4) que ayudan a definir los puntos pertenecientes a las caras o superficies del álabe del impulsor.

Enseguida se introducen los datos correspondientes a las coordenadas mencionadas para generar una secuencia de puntos en la pantalla (para nuestro caso solo para el álabe se digitalizaron 135 puntos diferentes a lo largo de su geometría, ver Tabla 3.0), al introducir todos los datos, por medio de una instrucción generamos una superficie mediante la unión de los puntos, obteniendo como resultado una superficie correspondiente al álabe mencionado, complementando el dibujo por medio la unión de esa superficie con otros puntos clave (ya sea donde comienza una cresta o un valle) del álabe del impulsor, logramos generar una figura muy parecida al dibujo del álabe.

Una vez definida en la pantalla la geometría del álabe como se muestra en la Figura 3.5, hacemos un arreglo con el mismo ya que el impulsor se compone de cinco álabes rotados cada 72°, es decir contenidos en un cilindro imaginario, así el arreglo mencionado se formó a partir de un álabe, copiando y rotando adecuadamente los otros cuatro álabes.

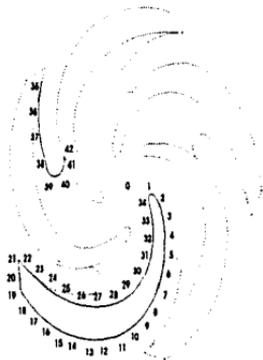
Para definir en la pantalla las nervaduras de unión entre los álabes que se pueden observar en la Figura 3.5, utilizamos el mismo procedimiento con siete niveles para mayor referencia de modo que digitalizamos una de las nervaduras obteniendo sus coordenadas y generando la superficie correspondiente en la pantalla y acoplado este con el arreglo de los cinco álabes copiándolo y rotándolo adecuadamente.

Finalmente una vez obtenido el dibujo, se procede a dimensionarlo con cotas y números que ayudan a definir mejor nuestro plano, además de elegir las vistas que queremos representar para posteriormente mandar a impresión el plano final y concluir la presente etapa.

Lo siguiente es realizar un programa de manufactura que describa claramente las operaciones de maquinado de la pieza o modelo en cuestión, aquí intervienen directamente los recursos con los que contamos, es decir, si contamos con máquinas de control numérico, que involucran generalmente a una gran diversidad de operaciones porque es necesario definir el número de herramientas (buriles, brocas, etc.) así como las velocidades de desbaste, de corte, etc.; el programa mencionado será estructurado en código "G" ya que es el lenguaje utilizado para la programación de máquinas de control numérico, definiendo debidamente a través del mismo programa el desbastado de la pieza hasta el tipo de acabado que hayamos especificado desde el diseño del programa.

En el Apéndice B se presentan los planos de subsistemas y vistas de la Bomba Centrífuga realizados en AutoCad V.13 como parte de la etapa de CAD.

LA PERIFERIA DEL ALABE FUE DIMENSIONADA PUNTO A PUNTO

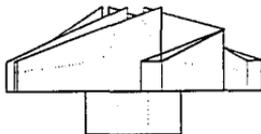


ARREGLO DE LOS 8 ALABES DEL IMPULSOR



VISTA DE PLANTA DEL IMPULSOR

VISTA LATERAL DEL IMPULSOR



Debido a la geometría irregular del alabe, se digitalizó punto a punto, obteniendo las coordenadas (X, Y, Z) de cada punto, las cuales se observan en la tabla anexa

Figura 3.4 Dibujo producto de la digitalización

PUNTOS	COORDENADAS		
	EJE X	EJE Y	EJE Z
CENTRO 0	-137.49	-288.20	-61.30
ALABE 1	-114.84	-278.13	-58.04
ALABE 2	-108.58	-286.31	-59.05
ALABE 3	-106.17	-291.94	-60.37
ALABE 4	-104.37	-299.51	-61.99
ALABE 5	-104.08	-305.99	-63.68
ALABE 6	-104.74	-315.06	-65.43
ALABE 7	-106.01	-320.14	-66.46
ALABE 8	-108.90	-326.73	-68.01
ALABE 9	-110.87	-332.19	-68.93
ALABE 10	-117.37	-337.92	-70.79
ALABE 11	-122.30	-342.42	-71.86
ALABE 12	-128.92	-346.51	-73.47
ALABE 13	-132.56	-348.91	-74.08
ALABE 14	-139.31	-352.21	-75.39
ALABE 15	-144.10	-354.38	-76.25
ALABE 16	-150.91	-355.57	-77.80
ALABE 17	-155.36	-356.92	-78.42
ALABE 18	-166.08	-358.26	-80.31
ALABE 19	-162.69	-360.94	-81.42
ALABE 20	-149.11	-364.88	-81.71
ALABE 21	-142.39	-363.48	-80.95
ALABE 22	-134.17	-359.85	-78.66
ALABE 23	-128.78	-357.20	-77.62
ALABE 24	-121.20	-352.45	-76.00
ALABE 25	-114.74	-348.01	-75.07
ALABE 26	-106.02	-338.73	-72.99
ALABE 27	-101.74	-332.50	-72.19
ALABE 28	-97.22	-320.40	-69.56
ALABE 29	-95.98	-311.35	-68.51
ALABE 30	-97.52	-298.76	-64.68
ALABE 31	-99.69	-292.10	-63.14
ALABE 32	-104.31	-283.16	-60.96
ALABE 33	-108.44	-277.66	-59.82
ALABE 34	-114.38	-275.38	-58.08
ENLACE 35	-76.97	-335.33	-91.68
ENLACE 36	-78.72	-333.94	-91.68
ENLACE 37	-80.05	-330.51	-91.68
ENLACE 38	-81.74	-324.73	-91.68
ENLACE 39	-83.21	-319.89	-91.68
ENLACE 40	-85.04	-314.88	-91.68
ENLACE 41	-88.48	-307.94	-91.68
ENLACE 42	-93.91	-308.27	-91.68

Tabla 3.0 Coordenadas de los puntos digitalizados correspondientes a la geometría del álabes del impulsor

LA PERIFERIA DEL ALABE FUE DIMENSIONADA PUNTO A PUNTO

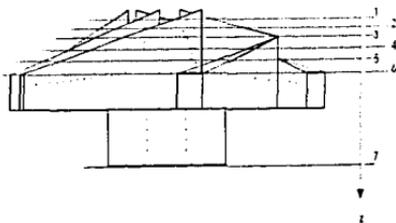


ARREGLO DE LOS 5 ALABES DEL IMPULSOR



VISTA DE PLANTA DEL IMPULSOR

VISTA LATERAL DEL IMPULSOR



Para la mesa de medición se tomarán 7 niveles de alturas diferentes, para cada nivel se determinarán 15 puntos excepto el nivel 7 por encontrarse en el exterior de los alabes.

Debido a la geometría Irregular del alabe, se digitalizó punto por punto, obteniendo las coordenadas de cada uno de ellos, las cuales se incluyen en la tabla anexa.



Figura 3.5 Se observan los niveles empleados para obtener las coordenadas de la

Tabla 3.0

III.5 EQUIPO UTILIZADO

Para el proceso de obtención del dibujo y análisis de la información, incluimos con respecto al hardware y al software:

Una computadora personal

Marca Acer
Tipo 486/33

Una impresora

Marca HP
Tipo LaserJet

con respecto al software:

Programa AutoCad V.13
CAE NISA

A continuación en la Figura 3.6 se muestra una fotografía del equipo utilizado:



Figura 3.6 Equipo utilizado en la operación de digitalización, análisis y obtención del dibujo.

CAPITULO IV

ANÁLISIS MECÁNICO

IV.1 MEMORIA DE CÁLCULO PARA EL ANÁLISIS DE LA FLECHA DEL SISTEMA FLECHA-IMPULSOR

La flecha se diseño con base en el criterio de falla por fatiga, debido a que este tipo de piezas mecánicas son propensas a fallar por el tipo de trabajo que desempeñan, generalmente la vida útil de las flechas depende directamente de las condiciones de trabajo en que se encuentren.

Para llevar a cabo el análisis, proponemos utilizar una flecha de acero inoxidable número AISI 316 y las condiciones de operación de la bomba son las siguientes:

- Potencia de 25 HP a 3600 r.p.m.
- Carga máxima de 90 [m] columna de agua
- Temperatura máxima de operación de 262 °C
- Par nominal de 51 [N m]

Primeramente determinamos el valor máximo de la presión, que incide en el extremo de la flecha cuando esta en operación, y se debe a la fuerza que ejerce el fluido sobre el impulsor.

Proponemos que el fluido con el cual trabaja la bomba, debido a su extenso uso es agua, siguiendo con determinar el valor de la presión que ejerce la columna de agua sobre la flecha, utilizando la siguiente fórmula:

$$P = \rho g H$$

donde P = presión ejercida por la columna de agua

$$\begin{aligned} \rho &= \text{densidad del agua} && = 1\,000 \text{ [kg/m}^3\text{]} \\ g &= \text{aceleración gravitacional} && = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]} \\ H &= \text{altura de la columna de agua} && = 90 \text{ [m]} \end{aligned}$$

sustituyendo los datos, tenemos:

$$P = 1\,000 * 9.81 * 90 = 882\,900 \text{ [N/ m}^2\text{]} = 128.02 \text{ [lb/in}^2\text{]}$$

en seguida a partir de:

$$P = F / A$$

donde

F = fuerza que ejerce la columna de agua
A = área proyectada de uno de los alabes del impulsor

Calculando el área "A" por medio de la geometría que presenta el álabe en la Figura 4.1, tenemos:

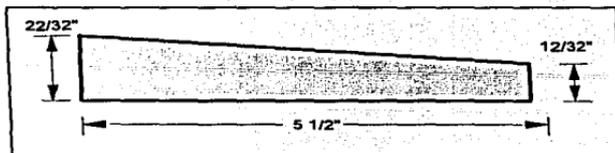


Figura 4.1 Vista lateral del álabe.

$$A = (22/32) (11/2) - [(10/32) (11/2)/2] = 2.92 \text{ [in}^2\text{]}$$

despejando la fuerza "F" y sustituyendo valores, tenemos:

$$F = P * A$$

$$F = 128.02 * 2.92 = 374.04 \text{ [lb]}$$

A partir del Diagrama de Cuerpo Libre (D.C.L. que se muestra en la Figura 4.2) que nos representa la forma en que será instalada la flecha, así como las posiciones de las fuerzas que en ella intervienen, procedemos a encontrar los valores de las reacciones por medio de las ecuaciones de equilibrio que a continuación se plantean:

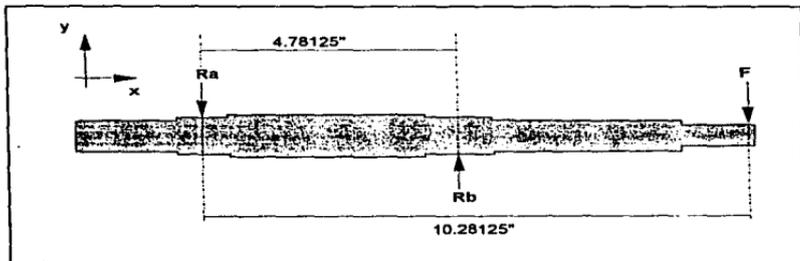


Figura 4.2 D.C.L. de la flecha

determinamos las reacciones "R_a y R_b" con el planteamiento y manejo algebraico de las ecuaciones siguientes, considerando que:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$\Sigma M_a = 0$$

$$\Sigma F_y = -R_a + R_b - F = 0 \dots\dots\dots A$$

$$R_b = R_a + F \dots\dots\dots A'$$

$$\Sigma M_a = R_b (4.78125") - F (10.09375") = 0 \dots\dots B$$

sustituyendo la ecuación A' en la ecuación B, tenemos:

$$\Sigma M_a = (R_a + F) (4.78125") - F (10.09375") = 0$$

despejando la reacción "R_a"

$$R_a = \frac{F * (5.3125)}{4.78125}$$

si sabemos que $\downarrow F = 374.04$ [lb]

$$R_a = 415.6$$
 [lb]..... 1'

sustituyendo la ecuación 1' en la ecuación A', tenemos:

$$R_b = 415.6 + 374.04 = 789.64$$
 [lb]

por lo tanto, las magnitudes así como direcciones de las fuerzas que intervienen en el cuerpo de la flecha, se observan en la Figura 4.3

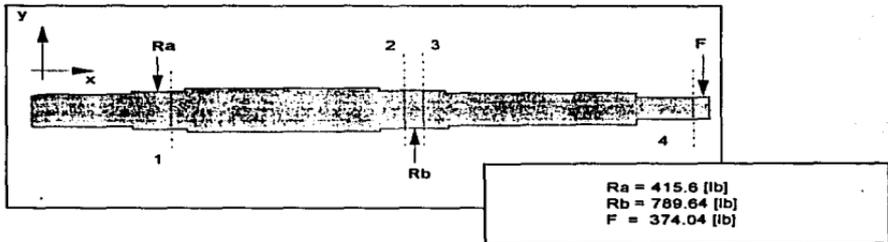


Figura 4.3 Magnitud y dirección de las fuerzas que actúan en la flecha.

Una vez determinadas las direcciones y magnitudes de las reacciones " R_a y R_b " que actúan sobre la flecha, continuamos para encontrar las ecuaciones de equilibrio y poder determinar el diagrama del esfuerzo cortante [V], como de momentos flectores [M] correspondiente al arreglo de la flecha, ver Figura 4.4

$$\begin{array}{ll}
 \Sigma F_y = -R_a - V_1 = 0 & ; \\
 \Sigma M_1 = 0 + M_1 = 0 & ; \\
 \\
 \Sigma F_y = -R_a - V_2 = 0 & ; \\
 \Sigma M_2 = R_a (4.78125") + M_2 = 0 & ; \\
 \\
 \Sigma F_y = -R_a + R_b - V_3 = 0 & ; \\
 \Sigma M_3 = R_a (4.78125") + M_3 = 0 & ; \\
 \\
 \Sigma F_y = -R_a + R_b - V_4 = 0 & ; \\
 \Sigma M_4 = R_a (10.09375") - R_b (5.3125") + M_4 = 0 & ;
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 V_1 = -415.6 \text{ [lb]} \\
 M_1 = 0 \\
 \\
 V_2 = -415.6 \text{ [lb]} \\
 M_2 = -1987.08 \text{ [lb.in]} \\
 \\
 V_3 = 374.04 \text{ [lb]} \\
 M_3 = -1987.08 \text{ [lb.in]} \\
 \\
 V_4 = 374.04 \text{ [lb]} \\
 M_4 = 0
 \end{array}$$

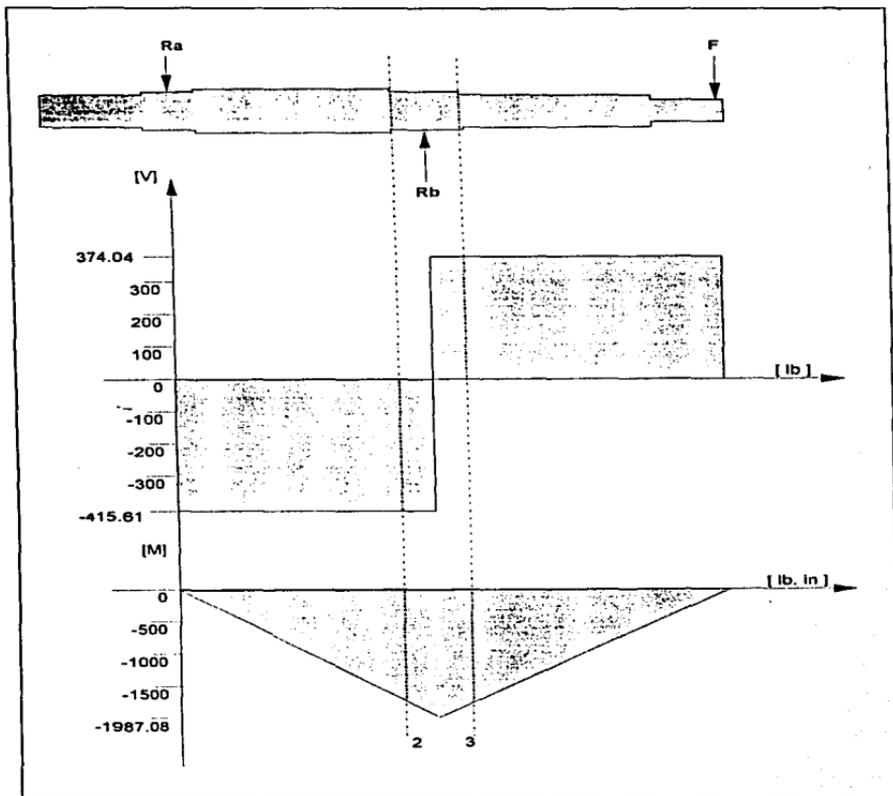


Figura 4.4 Disposición de la flecha con las reacciones y diagramas [V-M]

En la Figura 4.5 se indican los dos puntos probables donde puede ocurrir la falla por fatiga, para tal caso, se presenta el cálculo de resistencia a la fatiga así como un corte de las dos secciones indicadas.

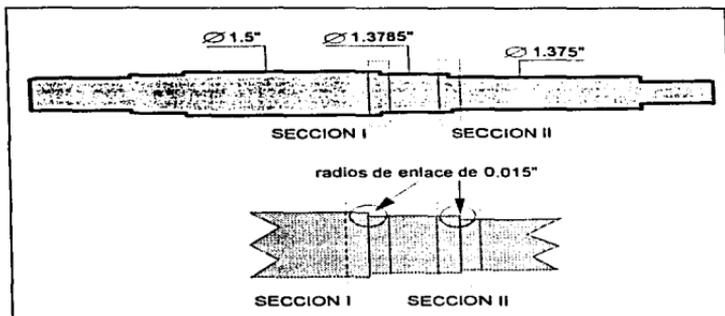


Figura 4.5 Corte de sección probable de falla

De la figura anterior, no podemos determinar el lugares preciso de falla, por eso se observa el cálculo del "límite de resistencia a la fatiga" en las dos secciones señaladas para determinar de manera teórica en cual de las dos sección podría suceder la falla mecánica.

DATOS:

- Material propuesto para la flecha: acero inoxidable AISI 316 (recocido)
- Maquinado como acabado superficial.
- Radios de enlace = 0.015"
- Temperatura máxima de operación = 262 °C

El "límite de resistencia a la fatiga", S_c , de un elemento de máquina (flecha) puede ser considerablemente más pequeño que el límite de resistencia a la fatiga de la muestra de viga rotatoria, S'_e . Esta diferencia se puede tomar en cuenta empleando una variedad de factores que modifican su valor y por ello, se consideran a continuación:

$$S_c = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e \dots \dots \dots (A)$$

- donde
- S_c = límite de resistencia a la fatiga de la flecha.
 - S'_e = límite de resistencia a la fatiga de la muestra de viga rotatoria.
 - k_a = factor de superficie
 - k_b = factor de tamaño
 - k_c = factor de confiabilidad
 - k_d = factor de temperatura
 - k_e = factor de efectos diversos

Directamente de la tabla A-1, (Las tablas A-1 hasta A-8 se ubican al final del capítulo) tenemos que para el material AISI 316, empleado para la construcción de la flecha tiene un valor, de resistencia a la tensión de:

$$S_{ut} = 80 \text{ [Kpsi]}.$$

Posteriormente para determinar el valor del factor de acabado superficial " k_a " hacemos uso de la expresión siguiente:

$$k_a = a S_{ut}^b \dots \dots \dots (B)$$

donde, de acuerdo al acabado superficial de la flecha, que en nuestro caso es maquinado, utilizando la tabla A-2, tenemos los siguientes valores:

$$a = 2.70 \text{ [kpsi]}$$

$$b = - 0.265$$

sustituyendo valores en la ecuación (B), tenemos:

$$k_a = 2.70 (80)^{-0.265} = 0.8453$$

Para determinar el factor de tamaño "k_b" hacemos uso de la expresión siguiente:

$$k_b = (d / 0.3)^{-0.1133} \dots\dots\dots (C)$$

de donde d = diámetro = 1.3785"

utilizando la tabla A-3 como referencia, tenemos que:

$$k_b = (1.3785 / 0.3)^{-0.1133} = 0.8413$$

Para el factor de confiabilidad " k_c " nos referimos a la tabla A-4 y directamente se obtiene:

$$k_c = 0.923$$

Para obtener el valor del factor de temperatura "k_d" , utilizamos la siguiente expresión:

$$k_d = \frac{S_T}{S_{RT}} \dots\dots\dots (D)$$

donde, S_T - resistencia a la tensión a Temperatura de operación
S_{RT} - resistencia a la tensión a Temperatura del lugar de trabajo

o simplemente conociendo que la temperatura máxima de trabajo es igual a 262 °C y con apoyo la tabla A-5 obtenemos un valor:

$$k_d = 1$$

Para determinar el factor de efectos diversos " k_c " consideramos los datos del cambio de diámetro en la sección I (Figura 4.5) y auxiliándonos con la tabla A-6, encontramos:

datos:

$$D = 1.500"$$

$$r / d = 0.0108$$

$$k_t = 1.7$$

$$d = 1.3785"$$

$$D / d = 1.0881$$

$$r = 0.015"$$

Ahora necesitamos determinar el factor de concentración de esfuerzos " k_f " sabiendo que $r = 0.015"$ y $S_{ut} = 80$ [Kpsi], refiriéndonos a la tabla A-7 que nos proporciona un valor para " q " conocida como sensibilidad a la muesca o ranura, obtenemos:

$$q = 0.60$$

Es necesario sustituir los valores hasta ahora encontrados en las expresiones siguientes:

$$k_f = 1 + q (k_t - 1) \dots \dots \dots (E)$$

$$k_f = 1 + 0.60 (1.7 - 1) = 1.42$$

$$k_c = 1 / k_f \dots \dots \dots (F)$$

$$k_c = 1 / 1.42 = 0.7042$$

A partir de la tabla A - 8, tenemos que:

$$S'_e = 0.504 (80) = 40.32 \text{ [Kpsi]}$$

utilizando la ecuación (A) y sustituyendo valores, para la sección I, tenemos:

$$S_e = (0.8453) (0.8413) (0.923) (1) (0.7042) (40.32) = 18.6371 \text{ [Kpsi]}$$

Ahora procedemos a determinar el valor del esfuerzo " σ " para la sección I, primeramente determinamos el valor del momento flexionante (ver Figura 4.5), con la siguiente ecuación:

$$M_i = 4.03125" \frac{5.5" R_b}{11.28125"} \dots \dots \dots (G)$$

sustituyendo valores, tenemos:

$$M_1 = (4.03125) \frac{(5.5)(789.64)}{11.28125} = 1551.93 \text{ [lb.in]}$$

para calcular el esfuerzo, se utiliza la ecuación siguiente:

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{I/c} \dots \dots \dots (H)$$

donde $I = d^4 / 64$

$$c = d / 2$$

$$d = 1.3785''$$

al sustituir "d = diámetro de la sección", encontramos:

$$I / c = \pi d^3 / 32 = [\pi (1.3785)^3] / 32 = 0.25717 \text{ [in}^3]$$

al sustituir los correspondientes valores en la ecuación (H):

$$\sigma_1 = 1551.93 / 0.25717 = 6034.65 \text{ [lb/in}^2] = 6.034 \text{ [Kpsi]}$$

determinamos el factor de seguridad "n₁", con la ecuación siguiente:

$$n_1 = \frac{S_e}{\sigma_1} \dots \dots \dots (I)$$

finalmente sustituyendo valores, tenemos:

$$n_1 = 18.6371 / 6.03465 = 3.088$$

Para la sección II (Figura 4.5), con el cambio de sección o diámetro, volvemos a determinar "k_e" si sabemos que:

$$D = 1.3785''$$

$$d = 1.375''$$

$$r = 0.015''$$

$$r / d = 0.0109$$

$$D / d = 1.0025$$

$$k_t = 1.6$$

como se trata del mismo material y el mismo radio de enlace de los diferentes diámetros, tenemos el mismo valor de $q = 0.60$ determinado anteriormente, entonces calculamos " k_f " de manera análoga:

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) = 1 + 0.60(1.6 - 1) = 1.36$$

$$k_c = 1 / k_f = 1 / 1.36 = 0.7353$$

para la sección II, sustituimos valores, teniendo:

$$S_c = (0.8453)(0.8413)(0.923)(1)(0.7353)(40.32) = 19.4602 \text{ [kpsi]}$$

debemos determinar el valor del esfuerzo en la sección II, si sabemos que el momento flexionante se calcula:

$$M_{II} = 4.75" \frac{4.78125" R_b}{11.28125"} = (4.75)(4.78125)(789.64) / 11.28125 = 1589.67 \text{ [lb. in]}$$

finalmente el esfuerzo queda como:

$$\sigma_{II} = \frac{M_{II}}{I/c}$$

$$\text{donde } I = d^4 / 64$$

$$c = d / 2$$

$$d = 1.375"$$

sustituyendo los valores correspondientes:

$$I / c = \pi d^3 / 32 = [\pi (1.375)^3 / 32] = 0.25521 \text{ [in}^3\text{]}$$

encontramos

$$\sigma_{II} = 1589.67 / 0.25521 = 6228.87 \text{ [lb / in}^2\text{]} = 6.22887 \text{ [Kpsi]}$$

determinamos el factor de seguridad " n_{II} ", con la ecuación siguiente:

$$n_{II} = \frac{Se}{\sigma_{II}} \dots\dots\dots (1)$$

finalmente sustituyendo valores, tenemos:

$$n_{II} = 18.6371 / 6.22887 = 2.9920$$

En las dos secciones se tiene un factor de seguridad por arriba de dos, por lo tanto el diseño propuesto es correcto.

En el Apéndice C se muestra el plano de técnico manufactura de la flecha.

Tabla A - 1 Propiedades de los aceros inoxidables

Material	Condición	Resistencia a la tracción		Resistencia a punto cedente	
		Kpsi	MPa	Kpsi	MPa
AISI					
Aceros austeníticos					
201	Recocido	115	793	55	379
301	Recocido	110	758	40	276
304	Recocido	85	586	35	241
310	Recocido	95	655	45	310
316	Recocido	80	552	30	207
Aceros ferríticos					
405	Recocido	70	483	40	276
430	Recocido	75	517	40	276
446	Recocido	80	552	50	345
Aceros martensíticos					
410	Recocido	75	517	40	276
416	Q&T 600	180	1240	140	966
431	Q&T 601	195	1344	150	1034
440A	Q&T 602	280	1930	270	1860

Tabla A - 2 Factores de modificación de acabado superficial

ka = a S ut ** b			
Acabado superficial	Factor "a"		Factor "b"
	Kpsi	MPa	
Rectificado	1.38	58	-0.085
M maquinado	2.7	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Forjado	39.9	272	-0.995

Tabla A-3 Factor de tamaño

Para flexión y torsión

(d = diámetro de la sección)

$$k_b = \begin{cases} (d / 0.3)^{-0.1133} & [\text{in}]; \text{ si } 0.11" \leq d \leq 2" \\ (d / 7.62)^{-0.1133} & [\text{mm}]; \text{ si } 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \end{cases}$$

En casos de tener cargas axiales para secciones circulares $k_b = 1$

Tabla A-4 Factor de confiabilidad

Factor k_c	Condición	Sujeto a:
0.923	Carga axial	Sut menor o igual a 220 Kpsi Sut mayor a 220 Kpsi
1.000	Carga axial	
1.000	Flexión	
0.577	Torsión y Cortantes	

$$K_c = 1 - 0.08 Z_r$$

Factor k_c	Variable estandarizada "Zr"	Confiabilidad
1.000	0.000	0.500
0.997	1.288	0.900
0.968	1.645	0.950
0.814	2.326	0.990
0.753	3.091	0.999
0.702	3.719	0.999 9
0.659	4.265	0.999 99
0.620	4.753	0.999 999
0.584	5.199	0.999 999 9
0.551	5.612	0.999 999 99
0.520	5.997	0.999 999 999

Tabla A-5 Factor de temperatura

Rango de temperatura °C ó °F	kd
	St / Srt
20	1
50	1.01
100	1.02
150	1.025
200	1.02
250	1
300	0.975
350	0.927
400	0.922
450	0.84
500	0.766
550	0.671
660	0.546

Tabla A-6 Diagrama para factores teoricos de concentración de esfuerzo kt

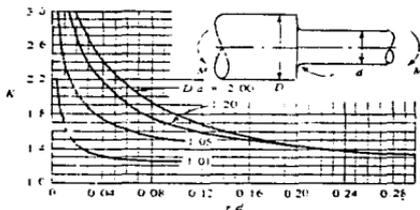


Tabla A-7 Diagrama de sensibilidad a las ranuras para aceros "q"

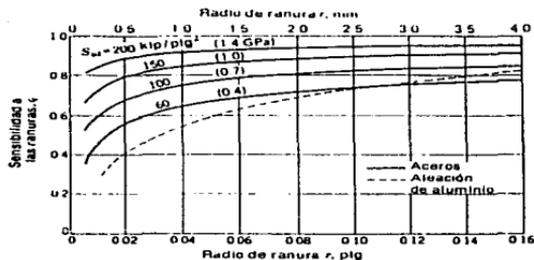


Tabla A-8 Limite medio de resistencia a la Fatiga "S'e"

$$S'e = \begin{cases} 0.504 S_{ut} & ; & \text{si} & S_{ut} \leq 200 \text{ Kpsi} \\ 100 \text{ Kpsi} & ; & \text{si} & S_{ut} > 200 \text{ Kpsi} \end{cases}$$

para fundiciones

$$S'e = \begin{cases} 0.45 S_{ut} & ; & \text{si} & S_{ut} \leq 88 \text{ Kpsi} \\ 40 \text{ Kpsi} & ; & \text{si} & S_{ut} > 88 \text{ Kpsi} \end{cases}$$

CAPITULO V

PROCESO DE MANUFACTURA UTILIZANDO CONTROL NUMÉRICO

V.1 INTRODUCCIÓN

Las máquinas-herramientas han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo tecnológico del mundo. Gracias a la utilización de dichas máquinas se ha podido realizar, de forma práctica, maquinaria de todo tipo que, aunque concebida y realizada, no podía ser comercializada ya que no existían los medios adecuados para su construcción en serie.

Las operaciones de maquinado necesarias para la fabricación de una pieza se dividen en un número de operaciones independientes, cada una de las cuales se puede realizar más eficientemente en una máquina en particular, así para el maquinado total de un grupo de piezas se necesitaba realizar operaciones de fresado, mandrinado y perforado, parece lógico que se alcanzara mayor eficacia si todas las máquinas-herramientas necesarias para realizar estas operaciones estuvieran agrupadas. La conveniencia de realizar estas tres operaciones en una máquina-herramienta forzó la utilización de nuevas técnicas que permitiesen sustituir al operador humano. De esta forma se introdujo una nueva tendencia en los procesos de fabricación, ya que obedece a las siguientes razones:

- a) Necesidad de fabricar productos que no se podían conseguir en cantidad y calidad suficiente.
- b) Necesidad de obtener productos hasta entonces imposibles o de muy difícil fabricación.
- c) Necesidad de fabricar productos a precios suficientemente bajos.

Para solucionar todos estos problemas, el hombre ha ideado numerosos dispositivos; mecánicos, electromecánicos, neumáticos, hidráulicos, electrónicos, etc. El factor predominante que condicionó todo automatismo fue el aumento de la productividad. Después, y debido sobre todo a las nuevas necesidades de la industria, han hecho su aparición otros factores que por su interés se citan a continuación: la precisión, la rapidez y la flexibilidad, a partir de entonces, todos los dispositivos automáticos ideados por el hombre tienden a optimizar la función de cuatro variables: productividad, precisión, rapidez y flexibilidad.

De acuerdo con estas variables, se definen distintos tipos de automatismos, a fin de elegir el más conveniente, de acuerdo al volumen de producción, ya que este factor proporciona un dato o índice muy importante para la selección del tipo de automatismo.

V.2 CONTROL NUMÉRICO

El Control Numérico (CN) es un sistema avanzado que regula las operaciones de una herramienta por medio de un soporte de cómputo u ordenador que aplicado a máquinas-herramientas, automatiza y controla todas las acciones de la máquina. De forma general el CN aplicado a una máquina-herramienta, tiene la capacidad de controlar o modificar a conveniencia:

- Los movimientos de los carros o ejes que tiene el cabezal de la máquina.
- El valor y el sentido de las velocidades de avance y corte.
- Los cambios de herramientas, así como los cambios de diferentes piezas
- Las condiciones de funcionamiento de la máquina y su estado de funcionamiento.

Paralelamente, el Control Numérico se encarga de coordinar otras funciones que se pueden clasificar como auxiliares dentro del proceso de la programación, por ejemplo:

- Controla el flujo de información;
- Controla la sintaxis de programación;
- Diagnóstica el funcionamiento y eficiencia de la máquina, etc.

Aunque el control numérico es una técnica relativamente joven, su evolución depende directamente en el desarrollo de la electrónica y, en particular, de la microelectrónica, la cual ha sido significativa, donde la lógica de los procesos fue confinada a una computadora, llamada también lógica de software o lógica programada. Esta lógica del equipo de control no es realizada por un montaje de elementos digitales, sino por la programación de una computadora, de tal modo que se da forma al CNC (Computer Numerical Control) o control numérico con lógica programada o por computadora.

Por consiguiente los requerimientos de producción ayudan a especificar el grado o nivel de complejidad de las máquinas con equipo de CN, así como los recursos y costos que se dispongan. De lo anterior se deduce que siempre que las series de fabricación se mantengan dentro de límites medios en lo referente al volumen de producción (de 50 a 10 000 piezas), el control numérico representa la solución ideal por las notables ventajas que se obtienen de su utilización, de las cuales podemos mencionar las siguientes:

- Posibilidad de fabricación de piezas muy difíciles.
- Precisión de la máquina-herramienta respecto a las máquinas clásicas.
- Reducción de los tiempos de ciclos operacionales.
- Ahorro de herramientas y utillaje

El equipo de CN calcula cualquier secuencia operacional sin errores y envía las órdenes necesarias para que la máquina-herramienta materialice en forma de movimientos dichos cálculos.

Para que el cálculo hecho por el control y el desplazamiento realizado por la máquina correspondan, dichas máquinas han sido equipadas con los elementos necesarios, dando así una nueva tecnología de fabricación.

Aunque el CN se ha orientado fundamentalmente hacia las máquinas-herramientas que trabajan por arranque de viruta, su utilización no queda restringida a estas aplicaciones, dentro de las diversas máquinas que trabajan conectadas a CN, tenemos:

Taladradoras
Tornos
Punzonadoras
Máquinas de oxicorte
Máquinas de dibujar
Manipuladores
Mandrinadoras
Máquinas de electroerosión
Bobinadoras
etc-

Fresadoras
Centros de maquinado
Máquinas de soldar
Dobladoras
Máquinas de trazar
Robots
Rectificadoras
Plegadoras
Máquinas de medir por coordenadas

V.3 FINALIDAD DEL CONTROL NUMÉRICO

La preparación del trabajo de manufactura utilizando CN tiene la finalidad de reducir el precio de los productos fabricados por una empresa, actuando y atendiendo, lo siguiente:

- La producción de las máquinas mediante disminución de los tiempos en que la máquina queda improductiva por esperar el utillaje, cálculos de costos por el operario, verificación, etc.;
- El análisis de las materias primas empleadas, así como del modo de obtención de la pieza, para establecer el proceso de maquinado en función de las condiciones iniciales. Se considera si la pieza es de fundición, de placas soldadas, si es perforada, etc.;
- La mejora de los tiempos necesarios para la fabricación por medio de la selección de la máquina mejor adaptada al trabajo por realizar;
- La reducción del porcentaje de rechazos. Para ello se analiza la elección de los puntos de partida de maquinado, definición de una gama que permita respetar las tolerancias de los planos, emplazamiento de tratamientos térmicos en los procesos de maquinado, etc.

Para la preparación de un proceso de manufactura es preciso:

- Definir la continuidad de las operaciones de maquinado, estableciendo un adecuado proceso de fabricación.
- Elegir las máquinas y las herramientas para que:
 - las piezas fabricadas sean buenas;
 - el costo sea el más bajo posible.
- Calcular los tiempos necesarios, a fin de:
 - establecer una carga de trabajo para la máquina;
 - establecer un plan de tiempos y movimientos;
 - calcular el costo.
- Realizar los documentos necesarios para informar al operario del método que se ha de seguir en la ejecución del trabajo.

La recepción y análisis del plan de manufactura tiene por finalidad el conocimiento por completo del proyecto por realizar, de forma que más tarde se pueda establecer planes de trabajo y tomar decisiones que permitan su resolución. Básicamente, existen dos fases para el estudio de este punto: por un lado se tiene la obtención de todos los datos de partida, y por otro, se debe establecer el plan de trabajo con base en estos datos.

Para la obtención de los datos de partida se estudiará:

- El tipo de maquinaria de que se trate, torno o fresadora.
- La rigidez de la pieza para su fijación y maquinado.
- Características del material para establecer las condiciones de corte.
- Superficies maquinado para los puntos de referencia
- Las tolerancias exigidas sobre dimensiones y geometría
- Calidad superficial requerida o rugosidad
- Total de piezas a producir

Una vez realizado el análisis de estos puntos, se debe elaborar un plan de trabajo, lo suficientemente detallado para que cumpla las condiciones requeridas.

Los criterios de elección entre máquinas con CN y máquinas convencionales, son ideas muy concretas que están basadas en:

- Precisión, el término es muy claro, sin embargo, en el control numérico el valor medio de precisión para máquinas normales se encuentra entre 5 y 1 μ .
- Rapidez, con respecto a la fase de preparación de la fabricación se refiere al establecimiento del proceso de maquinado y a la rapidez en la concepción y realización de las herramientas.
- Flexibilidad, por la libertad de movimientos que tiene la máquina para realizar trayectorias en relación con la pieza y la facilidad con que éstas pueden ser corregidas y modificadas así como cambiadas por otras nuevas.

V.4 CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS-HERRAMIENTAS CON CONTROL NUMÉRICO

Como consecuencia de las diferencias entre las máquinas por automatizar, de las dificultades técnicas en el diseño de las unidades de control y de condicionamientos económicos, se ha originado diversos tipos de control numérico, que pueden ser clasificados en tres tipos:

- 1.- Control numérico "punto a punto"
- 2.- Control numérico "paraxial"
- 3.- Control numérico "continuo"

CONTROL NUMÉRICO "PUNTO A PUNTO"

Este sistema controla el posicionamiento de la herramienta en los sucesivos puntos donde deben efectuarse una o varias operaciones de maquinado. La trayectoria seguida para pasar de un punto al siguiente no tiene importancia, pues las funciones de posicionamiento y de maquinado son distintas, como aplicaciones principales, tenemos: punteadoras, taladros, punzonadoras y mandrinadoras. (Figura 5.1)

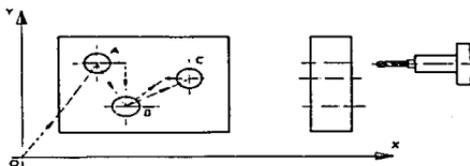


Figura 5.1 Control numérico "punto a punto"

CONTROL NUMÉRICO "PARAXIAL"

Con este sistema es posible controlar, además de la posición del órgano móvil, la trayectoria seguida por el mismo según la dirección de algunos de los ejes coordenados. Esta posibilidad se ofrece generalmente, como una opción adaptable a un sistema de posicionado punto a punto, una de las aplicaciones se halla en la taladradora-fresadora, pues el fresado sólo puede realizarse según trayectorias rectilíneas paralelas a alguno de los ejes coordenados. (Figura 5.2)

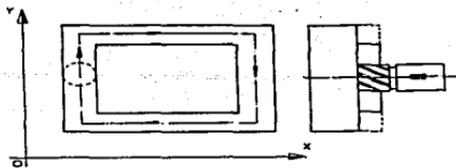


Figura 5.2 Control numérico "paraxial"

CONTROL NUMÉRICO "CONTINUO"

En los sistemas de posicionado continuo, los desplazamientos del órgano móvil son controlados en todo momento, de manera que las posiciones sucesivas del mismo deben corresponder siempre a la trayectoria preestablecida, de modo que los movimientos de los diferentes ejes, sigan cada uno, una ley prescrita por una trayectoria común. Ejemplos: fresadoras, tomos, centros de maquinado, mesas de dibujo automáticas, etc. (Figura 5.3)

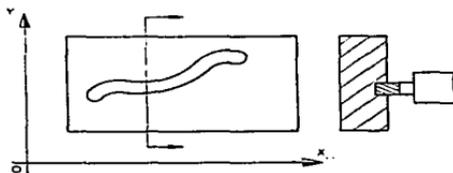


Figura 5.3 Control numérico "continuo"

V.5 PROGRAMACIÓN DE LAS MÁQUINAS-HERRAMIENTA CON CONTROL NUMÉRICO

De todos los factores que concurren para la utilización eficaz y rentable de las máquinas con control numérico, la programación es una de las más importantes.

Esta programación no es más que la codificación de un modo operativo, riguroso y lógico de los detalles, es aquí donde interviene el hombre, ya que el programador deberá tener conocimientos profundos de la tecnología del maquinado completados por el conocimiento de la codificación, en general la programación comprende dos fases:

- 1.- el establecimiento de un modo operativo detallado
- 2.- su transcripción, ya bajo una forma directamente asimilable por el equipo de control.

En una etapa de preparación, generalmente se revisa el tipo de utillaje necesario, las herramientas elegidas para el maquinado y la puesta a punto o calibración de la máquina. Sin embargo, nos queda todavía la comunicación de las órdenes del hombre a la máquina a través del armario de control.

Para resolver esta dificultad se ha desarrollado un lenguaje alfanumérico accesible al hombre e interpretable por la máquina. Este lenguaje posee su propia sintaxis codificada, y se llama LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.

La información necesaria para la ejecución de una pieza utilizando CN, se clasifica como información geométrica, tecnológica y de movimiento.

La información geométrica es la que contiene los datos referentes a las superficies de referencia, origen de los movimientos, etc. (Figura 5.4)

La información tecnológica describe los datos referentes a las condiciones de maquinado, los materiales, el modo de funcionamiento de la máquina, etc. en general todo aquello que tiene que ver con la geometría de la pieza. (Figura 5.4)

La información de movimiento indica el orden secuencia de las operaciones y el tipo de función de desplazamiento. Esta información es la que indica cómo se va a mover la máquina. (Figura 5.4)

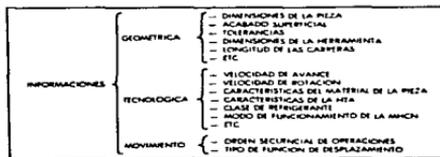


Figura 5.4 Tipo de información necesaria para comandar la máquina con CN.

La preparación de toda la información necesaria para la manufactura de una pieza, de forma inteligible para el control numérico, constituye el PROGRAMA.

La secuencia a seguir en la realización de una pieza, vía CN, en lo que concierne a la programación manual, puede ser la siguiente:

- 1.- El documento base del programador es el plano de la pieza.
- 2.- Las especificaciones del material, del acabado y de sus tolerancias indicadas en los planos, condicionan la programación, puesto que éstas determinan la elección de las herramientas y las condiciones de trabajo.
- 3.- Realizar los cálculos necesarios para la definición de las trayectorias de las herramientas, calculando las coordenadas de los puntos de trabajo, además de disponer las herramientas, el utillaje y la pieza en la máquina.
- 4.- Escritura del programa. De acuerdo con las características del control numérico y de la máquina-herramienta, considerando los convenios de signos y códigos determinados, para establecer las operaciones que debe realizar la máquina.
- 5.- Se pone en marcha la máquina, una vez terminada la operación de esta, se comprueba si la pieza fue correctamente elaborada. Si no lo es y el error se debe a una mala programación, se buscará corregir el error de inmediato a pie de máquina o en su defecto si el error es debido al ajuste de una de las herramientas, se modificarán los reglajes en la unidad de control.

En general para el uso de un torno con control numérico se requiere que a partir del plano técnico que se realiza en la computadora, se defina un programa en código "G" que sea entendible tanto para el programador como para el ordenador del torno estudiado, es por ello que se necesita conocer lo siguiente:

- 1.- El número de piezas y sus planos, así como el previo conocimiento de las máquinas-herramientas a que tengamos acceso, para que con esta información se desarrolle el proceso de maquinado.
- 2.- Las características de las máquinas, para conocer velocidades de corte, potencias de trabajo, dimensiones admisibles de las piezas a maquinar, las precisiones que puede manejar, etc.
- 3.- Muy importante las características del control numérico como el tipo de control, número de ejes de trabajo, formato bloque, lista de funciones codificadas, etc.

ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

El programa se divide cronológicamente en una serie de pasos llamados bloques, que contienen la información de una operación elemental, generalmente la ejecución del programa se realiza en forma secuencial, el orden de éste coincide con el de las operaciones de maquinado. En los controles numéricos tipo CNC, existe la posibilidad de romper con este orden según convenga el programa.

Todas las acciones que la máquina debe realizar y que se definen en cada bloque, se refieren a:

- a) desplazamientos de la herramienta
- b) velocidad de avance y rotación
- c) selección de herramientas
- d) establecimiento de las condiciones y modo de funcionamiento de la máquina-herramienta y del control numérico.

Desde el punto de vista de la programación, cada una de las posibles actuaciones, como las que se acaban de indicar, se denominan funciones y vienen identificadas por medio de una letra llamada dirección. Cada letra o dirección es acompañada por una cifra que representa el valor numérico de la función para la operación que se está considerando.

Al conjunto de caracteres que fijan una función cualquiera se le denomina "palabra" y, así, un programa se compone de bloques y un bloque, se compone de funciones o palabras.

EJECUCIÓN DEL PROGRAMA EN CONTROL NUMÉRICO

La ejecución del programa que dirige un torno con control numérico se realiza siguiendo normas fijas que ayudan a definir las ordenes o información deseada para el tipo de maquinado que se desea.

La información que debe contener todo programa, se describe enseguida:

1.- Texto previo

El cual contiene las indicaciones técnicas de la fabricación, como número de programa, número de piezas, etc. Estas anotaciones, colocadas por delante del primer símbolo "LF" (fin de línea o bloque), valen como texto previo para el operador, siendo ignoradas por el control. Si el texto previo se extiende a más de una línea, las subsecuentes líneas se escriben entre paréntesis.

Ejemplo:	Indicaciones al operador:	LF
	(Comentario.....)	LF
	(Comentario.....)	LF

2.- Principio del programa

Para el principio del programa se emplea el símbolo LF (LF = símbolo para conexión automática al código de perforación según la ISO).

3.- Programa de maquinado

Contiene las indicaciones para el transcurso del programa, así como las indicaciones geométricas o tecnológicas para el proceso de mando del maquinado.

4.- Final del programa

Quedan caracterizadas las funciones o instrucciones:

CONCEPTO	CÓDIGO ISO
Fin de programa	M02 LF
Fin de programa con salto al principio del programa memorizado	M30 LF

SISTEMAS DE EJES DE LA MÁQUINA-HERRAMIENTA CON CONTROL NUMÉRICO

Para el desarrollo del trabajo presente, se tomaron los ejes X - Z que definen a un plano horizontal. El eje Z coincide con el eje principal del torno, tomando como valor positivo la coordenada de un punto que se aleja del cabezal hacia el contrapunto. El eje X pasa por el eje principal del torno, tomando como valor positivo la coordenada de un punto que se aleja del cabezal hacia la torreta.

HOJA DE PROGRAMACIÓN

Para facilitar y simplificar la redacción y lectura del programa desarrollado se dispone de una hoja especial de programación, común para los tornos con control numérico, donde cada función tiene su propia columna y cada una de ellas están dispuestas en el orden establecido según el formato de programación, así cada renglón corresponderá a un bloque de información para la operación correspondiente. (Figura 5.5)

DEFINICIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA HOJA DE PROGRAMACIÓN.

Una hoja de programación consta de varias columnas y elementos, contiene formatos, instrucciones de operaciones dispuestos a manera de código, significando diversas condiciones de funcionamiento, así:

N	Corresponde al número de bloque desde 1 hasta 9999.
G	Corresponde a las funciones preparatorias, de dos dígitos.
X	Coordenadas en X, con 7 dígitos máximo (xxxx.xxx).
Z	Coordenadas en Z, con 7 dígitos máximo (xxxx.xxx).
I	Se emplea para la interpolación circular con 7 dígitos (xxxx.xxx).
K	Se emplea para la interpolación circular con 7 dígitos (xxxx.xxx).
F	Función velocidad de avance, 4 dígitos (xxxx).
S	Función velocidad de corte o R.P.M., 4 dígitos (xxxx).
T	Función selección de herramientas, 4 dígitos (xxxx).
M	Función auxiliar, 2 dígitos (xx).
LF	Fin de bloque.

FUNCIONES PREPARATORIAS

Las funciones preparatorias del código "G" están formadas por la letra G seguida por una cifra de dos números, este código determina el modo en que la máquina va a realizar las trayectorias.

CÓDIGO	GRUPO	FUNCIÓN
G00	A	Desplazamiento rápido
G01	A	Interpolación lineal
G02	A	Interpolación circular sentido horario
G03	A	Interpolación circular sentido antihorario
G33	A	Tallado de roscas
G04	*	Parada programada
G40	C	Ninguna compensación del radio de corte
G41	C	Compensación del radio de corte a izquierda
G42	C	Compensación del radio de corte a derecha
G70	D	Ciclo fijo
G71	D	Ciclo fijo
G72	D	Ciclo fijo
G73	D	Ciclo fijo
G74	D	Ciclo fijo
G75	D	Ciclo fijo
G76	D	Ciclo fijo
G77	D	Ciclo fijo
G78	D	Ciclo fijo
G79	D	Ciclo fijo
G50	*	Puesta de la memoria al valor real
G90	E	Programación absoluta
G91	E	Programación incremental
G20	G	Introducción de cotas en pulgadas
G21	G	Introducción de cotas en milímetros
G66	H	Llamada subprogramada (Marco)
G67	H	Borrado llamada a subprograma
G96	I	Velocidad de corte constante
G97	I	Programación del número de [r.p.m.]
G94	J	Avance en [mm] por cada minuto
G95	J	Avance en [mm] por cada revolución

Para ejemplificar algunos de los ciclos fijos para tornos y para fresadoras o centros de maquinado, se observa la Figura 5.6 y la Figura 5.7, respectivamente.

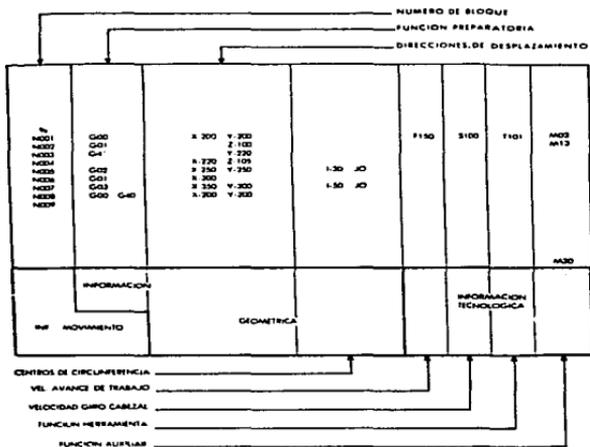


Figura 5.5 Programa tipo de control numérico

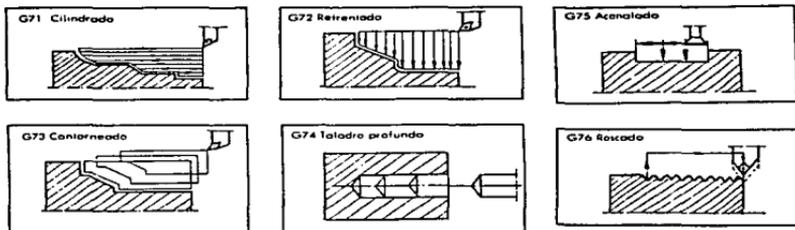


Figura 5.6 Ciclos fijos para tornos

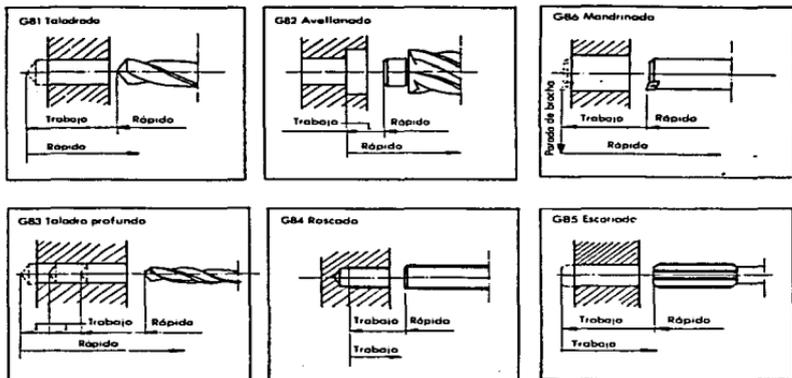


Figura 5.7 Ciclos fijos para fresadoras o centros de maquinado

REGLAS IMPORTANTES PARA EL MANEJO DE LAS FUNCIONES PREPARATORIAS

1.- El código "G" se puede especificar más de una vez en el mismo bloque siempre que este, corresponda a distintos grupos. Cuando existen varios códigos G especificados de un mismo grupo, solo es efectivo el último de ellos.

Ejemplo: dado un bloque

N... G00 G41 X... (la repetición es válida)
 N... G00 G01 X... Z... (solo es efectivo G01)

2.- Los códigos "G" de los grupos A, C, D, E, G, H, I, J, son modales, es decir, que una vez especificados, permanecen en activo hasta que se programe otro G del mismo grupo. (Modal significa que una instrucción es válida hasta que sea anulada o sustituida por otra del mismo carácter).

3.- Los códigos "G" del grupo " " no son modales; es decir, solo son efectivos en el bloque en que se programan. No se puede programar más de un código G en este grupo dentro del mismo bloque.

4.- Los códigos que están en activo al principio del funcionamiento son:

Grupo A --- G00
Grupo C --- G40
Grupo E --- G90
Grupo G --- G21
Grupo H --- G67
Grupo I --- G97
Grupo J --- G95

5.- Si el código "G" del grupo A se especifica en un ciclo fijo, este se anula automáticamente. Sin embargo, cualquier G del grupo A no es afectado por un código G del ciclo fijo.

Ejemplo:

```
N15 G00 X... Z...  
N16 G81 Z... ( se anula G00 )  
:  
:  
:  
...  
N21 G80 X... Z...  
N22 X... Z... (es activo G00 )
```

FUNCIONES AUXILIARES

La función auxiliar esta formada por la letra "M" seguida de dos números. Este código hace referencia al modo de funcionamiento de la máquina-herramienta y del control numérico.

Las funciones auxiliares generalmente presentes en las máquinas son:

M00	Parada programada
M01	Parada opcional
M02	Fin de programa
M03	Giro del husillo sentido horario
M04	Giro del husillo sentido antihorario
M05	Parada del husillo
M06	Refrigeración en marcha
M14	Parada de la refrigeración
M30	Fin del programa y vuelta a la secuencia número uno.
M41	Gama lenta de velocidades
M42	Gama rápida de velocidades

Las funciones " I,K " cambian de acuerdo al código "G" y al grupo que se designe por cada bloque en el que aparecen, porque pueden designar conceptos diferentes en un mismo programa por ejemplo:

Cuando aparecen en un bloque donde existe un G73 (ciclo fijo) la I es máximo material sobrante en el eje X. Mientras para un código G75 (ciclo fijo) la I es longitud de los tramos de la pasada. O para el código G76 (ciclo tallado de roscas) I es la inclinación del cono roscado. Así también la función K, mientras en un código es la profundidad de la pasada, en otro ciclo es la longitud de los tramos dentro de la pasada rosca. En nuestro caso en particular se definirá posteriormente la designación de cada una de las funciones que se ocuparán, así como, su definición dentro del programa.

Es claro asentar que se trabaja para efectos de medidas con pulgadas, para esto necesitamos poner el código G20 grupo 6, ya que de no hacerlo, el programa automáticamente tomará los datos como milímetros (G21); al igual se trabajará siempre con programación absoluta G90 grupo E.

PROGRAMACIÓN DE VELOCIDAD DE AVANCE

La velocidad con la que debe realizarse los desplazamientos, se programa con la dirección F seguida de un número de hasta cuatro dígitos. Esta velocidad se programa en milímetros por cada minuto (mm/min.) con la instrucción G94 grupo J.

DEFINICIONES DE CONCEPTOS EMPLEADOS PARA CONTROL NUMÉRICO

Velocidad de corte.- recibe el nombre de velocidad de corte, la distancia expresada en metros por minuto recorrida por un punto de la periferia de una pieza ante el pico de la herramienta, o bien por un punto de la arista de corte de una herramienta que gira frente a la pieza.

Avance (torno) ; se llama avance, a la longitud expresada en milímetros recorrida por el carro o por el carrillo portaherramientas en un torno, por cada vuelta del husillo.

Avance (fresadora); es la longitud, expresada en milímetros recorrida por la mesa de la fresadora por cada vuelta de la fresa. En este caso, el espesor de la viruta es igual al cociente de dividir al avance por el número de dientes de la fresa, para las fresas de control numérico se define de la siguiente manera el avance:

$$\text{Avance en mm/min.} = e \times Z \times N$$

donde:

e = espesor de la viruta

Z = número de dientes de la fresa

N = velocidad de rotación de la fresa en r.p.m.

Velocidad de giro; se denomina velocidad de giro al número de vueltas que realiza una pieza circular o bien una herramienta en un minuto, este valor se designa con la letra N.

Velocidad de corte (metros)

Velocidad de giro por minuto =

$$\frac{\text{Velocidad de corte (metros)}}{\text{Diámetro de la pieza o de la herramienta (metros)} \times 3.1416}$$

Como regla general, se adopta lo siguiente:

Desbastar a una velocidad de giro moderada y una gran velocidad de avance.
Acabar a una gran velocidad de giro y una velocidad de avance pequeña.

Para el maquinado de la flecha y del impulsor, proponemos el material siguiente:

Flecha: Acero inoxidable AISI 316 con resistencia a la tensión de 140 a 180 kg.
Impulsor: Acero inoxidable AISI 316 (fundición) R = 160 kg.

DEFINICIÓN DE HERRAMIENTAS

Para la torreta de ocho portaherramientas

1.-	T1	Herramienta para torneado longitudinal
2.-	T2	Herramienta para trabajo de refrentado
3.-	T3	Palpador
4.-	T4	Herramienta para corte perfilado
5.-	T5	Herramienta para roscar (exteriores)
6.-	T6	Herramienta para ranurar
7.-	T7	Herramienta para taladrar
8.-	T8	Herramienta para tronzar

Se muestra en la Figura 5.8 un esquema del ciclo de maquinado con CN.

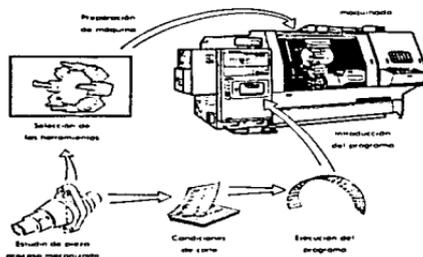


Figura 5.8 Ciclo de maquinado de una pieza cualquiera.

FUNCIONES DE CADA HERRAMIENTA EN EL PROCESO DE MAQUINADO

- T1 Se usa para el desbaste y acabado del cilindrado de la flecha
- T2 El terminado de las caras de la flecha requieren de refrentado para asegurar una perpendicularidad al eje.
- T3 Para chequear las coordenadas dentro del área de trabajo y a la vez chequear cotas de la pieza.
- T4 Con herramienta se le da el contorno de la ranuras de la flecha para las diferentes secciones que existen en la misma y se facilita su maquinado.
- T5 Herramienta para roscado exterior en las secciones de la flecha.
- T6 Herramienta con cabeza motorizada para poder ranurar los cuñeros requeridos en las cuerdas.
- T7 No se usa en esta operación.
- T8 Se usará para el corte de la barra de acero del producto terminado

En la Figura 5.9 se muestra un resumen las operaciones realizables en un torno

TORNO

	<p>Torneado longitudinal o cilindrado.- Le herramienta se mueve a lo largo del eje de la pieza a trabajar reduciendo el diámetro.</p>
	<p>Refrentado.- La herramienta tornea una cara perpendicular al eje de la pieza, bien hacia afuera del centro o hacia el centro.</p>
	<p>Copiado.- Este se puede realizar hacia fuera o hacia dentro y con ángulos distintos.</p>
	<p>Cortes perfilados.- Se realizan con herramientas a las que se les ha dado la forma específica que ha de cortarse. Los más comunes son diferentes tipos de ranuras, rebajes y chaflanes.</p>
	<p>Roscado.- Se realiza cuando la pieza requiere una parte roscada, interior o exterior. Esta operación también se puede hacer sobre un plano inclinado o en la cara frontal de la pieza.</p>

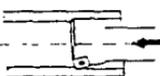
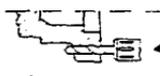
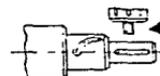
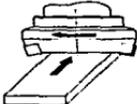
	<p>Taladro.- Consiste en realizar un agujero centrado en el eje en aquellas piezas que tienen una forma interior determinada. Se posibilita de esta manera la posterior entrada de otras herramientas.</p>
	<p>Mandrinado o maquinado interno.- Se realiza sobre una pieza en la que se ha taladrado un agujero. La mayoría de las operaciones externas antes mencionadas se realizan también internamente con las herramientas adecuadas.</p>
	<p>Tronzado.- Se realiza esta operación cuando ya está maquinada la pieza por lo menos en un extremo. Es un método de separar la pieza de una barra sin quitar ésta de la máquina.</p>
	<p>Taladro complementario.- Se realiza esta operación en aquellas máquinas que tiene herramientas con giro propio. Sirve perfectamente para completar el trabajo en piezas sencillas y puede realizarse tanto axial como radialmente.</p>
	<p>Maquinado diverso.- Al igual que la operación anterior, también es adecuada para complementarse con otros maquinados. Esta operación puede ser radial o axial y también puede tener cualquier dirección con el eje. (levas, ranuras de guiado, etc.)</p>

Figura 5.9 Operaciones comunes en torno

En la Figura 5.10 se muestra un resumen las operaciones realizables en una fresadora

FRESADORA

	<p>Planeado.- Es la operación más común y supone el fresado de superficies planas paralelas a la cara de la fresa montada en husillo vertical u horizontal. El planeado se puede realizar en una o varias pasadas, en función del ancho de la superficie por maquinar y el tamaño de la fresa.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

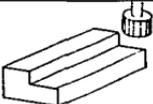
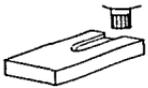
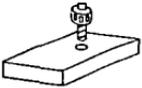
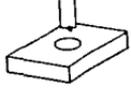
	<p>Planeado y esquadro.- La operación es similar a la anterior, pero considerando que las superficies maquinadas deben quedar a 90°.</p>
	<p>Fresado periférico.- Esta operación es similar a la anterior pero a menor dimensión. Se emplea para hacer canales o agujeros rasgados y para esquadrar en aquellos casos en que la dimensión así lo exige.</p>
	<p>Taladrado.- Operación muy común en el CN. El taladrado consiste en realizar agujeros de mayor a menor tamaño que permitan posteriores operaciones.</p>
	<p>Mandrinado.- Consiste en maquinar un agujero con la herramienta llamada "mandarino" a punta cuchilla</p>

Figura 5.10 Operaciones comunes en una fresadora

Una vez definidas las funciones anteriores que emplearemos en el programa para maquinar por medio del control numérico, estableceremos lo siguiente:

- 1.- Plano de referencia de ejes coordenados
- 2.- Plano de referencia de coordenadas de las cotas empleadas para el programa de control numérico.
- 3.- Puntos de referencia de las cotas en los ejes X - Z tabulados.
- 4.- Programa de control numérico.

V.6 CASO DE APLICACIÓN

Una vez realizada la digitalización del modelo, para obtener sus dimensiones, así como la realización de un plano o dibujo ingenieril que describa sus características en forma detallada, procedemos a realizar un dibujo con los trazos y medidas de corte, señaladas en el plano para llevarles a cabo en el taller de máquinas-herramientas de nuestro centro de manufactura.

Para esta etapa en particular y dándole seguimiento al trabajo presentado en esta tesis, dividimos la manufactura de la flecha y del impulsor en dos partes para desarrollar y ejemplificar los diferentes procesos de producción, para el caso de la flecha, el maquinado será asistido por máquinas-herramientas con control numérico o CN y para el caso del impulsor, su manufactura comprende la realización de modelos en arena para llevar a cabo una fundición del material y posteriormente el maquinado que da parte al acabado final.

PROCEDIMIENTO

Obtenidos los planos de la flecha y del impulsor con ayuda de las máquinas de medición por coordenadas CMM conectada en interfase con CAD, se procede a identificar los procesos de manufactura que se requieren para el desarrollo de manufactura de las piezas y determinar mediante una selección de máquina-herramienta la que mejor convenga, para poder así reducir costos, tiempo y facilitar el desarrollo del mismo proceso.

De estas máquinas, la tecnología ha realizado varios cambios que han revolucionado a los procesos de producción a nivel mundial ya que actualmente se pueden realizar trabajos de torno-fresa-taladro, en una misma máquina que es controlada por un ordenador y que tiene la capacidad de ser previamente programada para efectuar en secuencias, todo un proceso de manufactura en alta escala de producción.

PROCESO DE MAQUINADO DE LA FLECHA

Para el maquinado de la flecha se hizo una selección de una máquina-herramienta que trabaja por arranque de viruta denominada "torno" ya que tiene la capacidad de ser programadas todas sus operaciones por medio de un módulo de control numérico e inclusive cuenta con diferentes herramientas de corte, situadas en un cabezal giratorio, que contiene a las herramientas cortantes (semejantes a los buriles) puestas de forma análoga a un revólver, de tal forma que el arranque de viruta suceda en forma radial a la pieza maquinada, que a la vez es sujeta con un juego de mordazas y un contrapunto sin luneta con alimentador de material por el lado de la mordaza.

Identificado el proceso de manufactura que tendrá la flecha, se procede a especificar el tipo de material, resultando ser acero inoxidable número AISI 316, posteriormente se compra una barra del material descrito, para ser cortada de acuerdo a las dimensiones especificadas así los pasos siguientes como el desbaste del material hasta los acabados superficiales, tendrán lugar en el proceso. De maquinado que enseguida se describe, para obtener una flecha igual a la original, lista para su uso.

Para hacer una descripción del proceso de maquinado de la flecha, se ha dividido en etapas este procedimiento, quedando de la manera siguiente:

Materia prima: Comprando una barra redonda de acero inoxidable norma AISI 316 de 1 1/2" de diámetro, con un largo de 10 ft.

- Etapas**
- Etapas 1** Comienza con el corte en cizalla del largo de la barra de acero a 14 1/4", como pieza base para el proceso de maquinado.
 - Etapas 2** Maquinado utilizando máquinas-herramientas con CN con la secuencia siguiente:
Desbaste primario para el diámetro.
Desbaste y acabado para el ajuste de los diámetros de baleros.
Acabado en el diámetro de la empaquetadura.
Acabado del lado del impulsor.
Acabado del lado del coplee.
Cuerda de los baleros.
Cuerda del impulsor.
Corte final
 - Etapas 3** Fresado del cuñero situado del lado del coplee.

Observaciones: Los terminados en los extremos de los diámetros se realizan con herramienta especial para los diferentes cambios de sección. En la Figura 5.11 se puede observar las herramientas utilizadas en la descripción operacional anterior.

ETAPAS DEL MAQUINADO PARA ACABADO SUPERFICIAL DE LA FLECHA

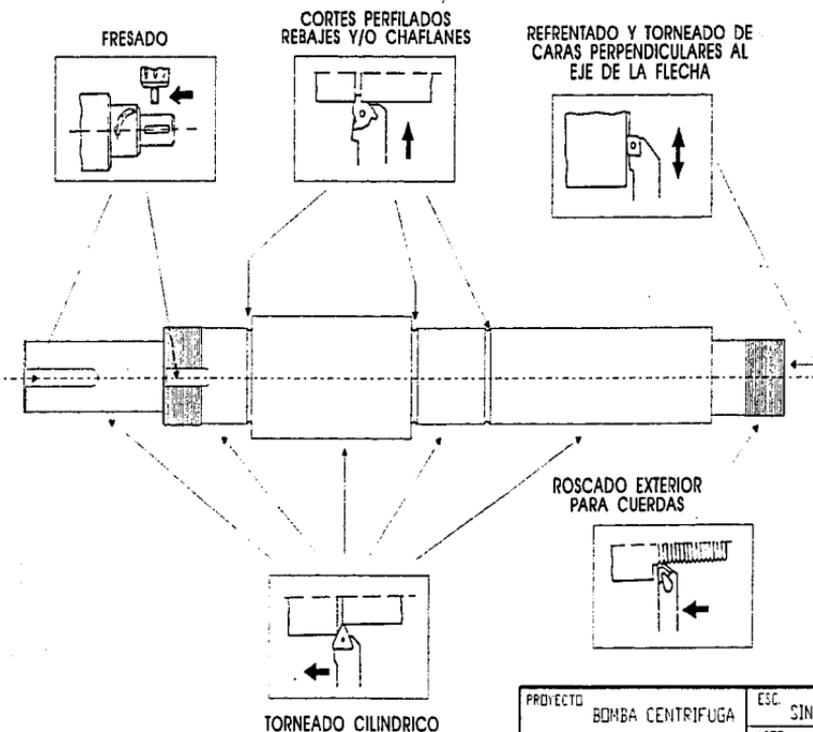
- Etapas**
- Etapas 1** Sujetar la pieza con mordazas, refrentar cara para el asiento posterior y definir centro para punto de centrado.
 - Etapas 2** Se sujeta la pieza por la parte maquinada anteriormente, se refrenta la cara para el asiento y se define el punto de centrado en contrapuntos.
 - Etapas 3** Se coloca la pieza entre puntos y se efectúan los siguientes trabajos señalados en porción de la flecha señalada. (ver Figura 5.12 y Tabla 5.0)
Cilindrar del punto B al E.
Cilindrar del punto E al H.
Corte perfilado del punto I al J.
Cilindrar del punto K al L.
Corte perfilado del punto M al N.
Cilindrar del punto O al P.
Corte perfilado del punto Q al R.
Cilindrar del punto S al U.
Chañán perfilado del punto U al V.
Cilindrar del punto V al W

**Refrentado terminal de la cara Y
Chañán perfilado del punto W al X**

- Etapa 4** Realizar el roscado del punto B al D
Realizar el roscado del punto T al U
- Etapa 5** Realizar el cuñero del punto A' al B'
Realizar el cuñero del punto C' al D'

Para ejemplificar gráficamente el proceso de maquinado de la flecha se incluyen dos planos, el primero de la Figura 5.11 contiene de forma esquemática las herramientas usadas para cada operación de maquinado de la flecha, en seguida, el plano de la Figura 5.12 contiene la ubicación de los puntos señalados de la "A" hasta la "Y" como referencia para los detalles de manufactura de la flecha, anexo del plano anterior es la Tabla 5.0 que contiene la relación de las coordenadas de cada punto de referencia.

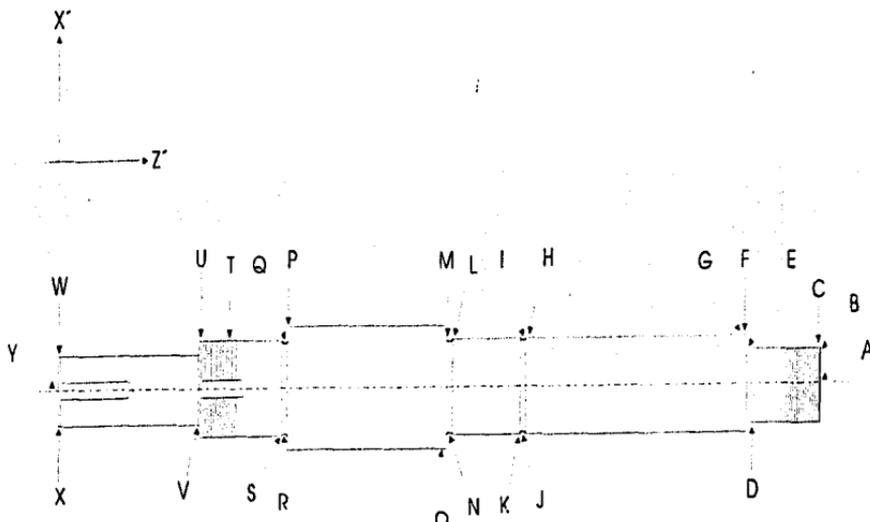
En la Figura 5.13 se muestra la hoja de programación en código "G" para maquinar la flecha del sistema flecha-impulsor, en esta hoja de programación se presenta solo las operaciones de maquinado, quedando pendientes las operaciones preparatorias las cuales son establecidas según el modelo y marca de la máquina con control numérico a utilizar.



TORNEADO CILINDRICO

PROYECTO	BOMBA CENTRIFUGA	ESC.	SIN ESC.
SISTEMA	FLECHA-IMPULSOR	ACOT.	SIN COTA
DISEÑO	KLH		
ELABORO	KLH	REVISO	LGG
		FECHA	DICIEMBRE 1996
		NO PLAND	

Figura 5.11 Proceso de Maquinado de la Flecha



PUNTOS DE REFERENCIA PARA LA MANUFACTURA
CON CONTROL NUMERICO

PROYECTO	BOMBA CENTRIFUGA	ESC.	SIN ESC.
SISTEMA	FLECTIA-IMPULSOR	ACOT.	SIN COTA
DISEÑO	KLH		
ELABORO	KLH	REVISO	LGG
			FECHA DICIEMBRE 1996
			NO. PLANO

Figura 5.12 Puntos de referencia para la manufactura con CN

**RELACION DE COORDENADAS DE CADA PUNTO DE LA FLECHA
COORDENADAS EN PULGADAS**

PUNTOS EJES	A	B	C	D	E	F	G
Z	14.0625	14.0625	14.0000	13.1875	13.0625	13.0625	13.0000
X	0.0000	0.3500	0.3750	0.3750	0.3750	0.6875	0.6875
		0.7000	0.7500	0.7500	0.7500	1.3745	1.3750

PUNTOS EJES	H	I	J	K	L	M	N
Z	14.0625	14.0625	14.0000	13.1875	13.0625	13.0625	13.0000
X	0.0000	0.3500	0.3750	0.3750	0.3750	0.6875	0.6875
		0.7000	0.7500	0.7500	0.7500	1.3745	1.3750

PUNTOS EJES	O	P	Q	R	S	T	U
Z	14.0625	14.0625	14.0000	13.1875	13.0625	13.0625	13.0000
X	0.0000	0.3500	0.3750	0.3750	0.3750	0.6875	0.6875
		0.7000	0.7500	0.7500	0.7500	1.3745	1.3750

PUNTOS EJES	V	W	X	Y
Z	14.0625	14.0625	14.0000	13.1875
X	0.0000	0.3500	0.3750	0.3750
		0.7000	0.7500	0.7500

Tabla 5.0 Relación de coordenadas de puntos de referencia

HOJA DE PROGRAMACION
PARA LA MANUFACTURA DE LA FLECHA

REALIZO KLI:	FECHA Abr-97	MAQUINA EMCO COMPACT CNC/SW 004	No. PIEZA 8	No. PROGRAMA II/0497/1
-----------------	-----------------	---------------------------------------	----------------	---------------------------

OBSERVACION	N	G	X	Z	I	K	F	S	T	M
	N0									M03
	N1	G50	2 0000	15 0000						
A	N2	G00	0 0000	14 0625						
B	N3	G01	0 3500				120	1200		
C	N4		0 3750	14 0000						
D/E	N5			13 0625						
F	N6		0 6873							
G	N7		0 6875	13 0000						
H	N8			8 8750			100			
I	N9	G03	0 6875	8 8730		150				
J	N10			8 7510		150				
K	N11		0 6893	8 7480						
L	N12			7 4375						
M	N13	G03	0 6825	7 4370		150				
N	N14	G03		7 3145		150				
O	N15		0 7500	7 3145						
P	N16			4 1250						
Q	N17	G03	0 5857	4 1220		150	120			
R	N18	G03		4 0030		150				
S/T	N19		0 5907	4 0000						
U	N20			2 4375						
V	N21	G03	0 4375	2 4300		100				
W	N22			0 0200						
X	N23		0 4000	0 0000			110			
Y	N24		0 0000							
ROSCA DEL	N25	G50	2 0000	15 0000						
IMPULSOR	N26	G00	0 3750	14 0625					110	
	N27	G33		13 1875			150			
	N28	G00	2 0000							
ROSCA DEL	N29	G50		24 4300					100	
BALERO	N30	G01	0 5865							
	N31	G33		3 0000			100			
	N32	G00	2 0000	15 0000						
	N33									M30

Figura 5.13 Hoja de programación en Código "G".

PROCESO DE MANUFACTURA DEL IMPULSOR

El elemento de la bomba centrífuga llamado impulsor, presenta un procedimiento de manufactura diferente al compararse con el de la flecha, ya que el impulsor, requiere primeramente un proceso de modelado y subsecuentemente un proceso de fundición, los cuales se describen a continuación:

Para el impulsor, se requiere desarrollar un prototipo por medio del método de moldeo en arena o arcilla, proceder a hacer un vaciado de la fundición del material (acero inoxidable AISI 316) y finalmente utilizar las máquinas-herramientas para obtener la pieza final.

El proceso de moldeo y fundición es el siguiente:

Modelado: Al determinar la información necesaria por medio del plano del impulsor que contiene los datos de dimensiones y valores reales de las cotas que se obtuvieron con el uso de la CMM, podemos fabricar un modelo o molde formado por cuatro moldes parciales, que ayudarán a conformar un molde final, los moldes parciales corresponden a:

- 1.- Alabes
- 2.- Plato
- 3.- Alabes posteriores
- 4.- Mamelón

Para la realización de los moldes parciales se cuenta con la presencia del impulsor, como pieza muestra, y la metodología empleada es la siguiente:

1.- Alabes, utilizando resinas plásticas comerciales (plate automotriz y endurecedor) se procede a "enmascarar" uno de los cinco alabes del impulsor, colocando previamente aceite en todo el impulsor para facilitar el despegado de la resina plástica, una vez seca, procurando que se cubra el alabe seleccionado en su totalidad para asegurar que la impresión de la parte interior del alabe salga completa (aproximadamente 5 minutos), se retira la máscara de la pieza, quedando perfectamente delineado el perfil del álabe, considerando su forma y grados de inclinación con respecto al plato o eje horizontal, a continuación se toma esta máscara como molde para vaciar otra resina especial formada de poliéster líquido que facilita el vaciado en la máscara y al mismo tiempo no existe posibilidad de que se pegue en la máscara porque al secarse se despegue de la misma máscara con gran facilidad dejando formado un álabe idéntico al original del molde, el cual se utilizara para otra operación.

2.- Plato, se traza sobre una hoja de triplay de madera, todo el contorno de los alabes, así como la forma de su terminación, después de tomar las medidas de altura y formas, se procede a cortar con sierra cinta para madera, se coloca en un torno para madera y se da la forma de las alturas para obtener el contorno del plato final.

3.- Alabes posteriores, como estos no son de contornos muy altos ni tienen radios en sus terminaciones, se trazan en madera y se cortan con una sierra de forma manual hasta obtener el contorno final, para proceder a lijar y así quitar asperezas.

4.- Mamelón. Esta parte consta de un cilindro de madera que se tornea partiendo de las dimensiones del impulsor muestra.

Formado del modelo: una vez obtenidos los cuatro elementos anteriores se procede a unir las piezas pegando con resina los alabes sobre el plato de acuerdo con el modelo muestra, solo se pegan los alabes anteriores como posteriores, el mamelón sin embargo se fija ayudado de pernos para que en el proceso siguiente (fundición) se facilite su retiro en el moldeado, por último, se lija a manera de no dejar asperezas y dar un terminado en laca procurando empastar perfectamente su superficie y dejarlo listo para el siguiente proceso.

Fundición. Con el modelo terminado en madera, se procede a fundir el impulsor, esto se realizara con el método de moldeo en arena y la fundición del material (AISI 316) por medio de un horno eléctrico, siguiendo los pasos de:

1.- Se prepara el modelo de madera con polvo para despegar y se busca cubrir totalmente con dicho polvo.

2.- Se preparan las cajas de moldeo con arena para moldear.

3.- Se trabaja con el modelo para estampar el mismo en la caja de moldeo, esto es, se introduce el modelo de madera y se compacta la arena con una máquina compactadora hasta lograr que la pieza deje "huella" en la arena. En seguida se retira el modelo de la caja y se limpia con aire comprimido los posibles materiales sobrantes, procedemos a pintar y a calentar la arena para endurecerla, se cierra la caja de moldeo para poder vaciar el material fundido (AISI 316) y esperar a que se enfríe, una vez fría la fundición se retira la caja de moldeo y nos queda una pieza parecida al impulsor, con coladores del mismo material, los cuales se retiran y se rebabean con el esmeril para finalmente obtener una pieza limpia y adecuada para el maquinado.

PROCESO DE MAQUINADO DEL IMPULSOR

Materia prima: El proceso comienza con la existencia de la fundición de acero inoxidable norma AISI 316. Además el proceso del maquinado de esta pieza se resume en una sola etapa, la cual se describe a continuación. (Figura 5.14)

- Se realiza maquinado del lado de la cuerda, parte posterior del impulsor.
- Se desbasta las aspas traseras
- Se desbasta el mamelón
- Acabado en orificio para la cuerda del mamelón
- Acabado en aspas traseras
- Machuelado del mamelón
- Acabado del mamelón con ranura para el sello "O" ring.
- Se la de vuelta al impulsor
- Se realiza el desbaste de las aspas o alabes delanteros
- Se realiza el acabado con ángulos en alabes
- Terminado según las especificaciones del diámetro final.

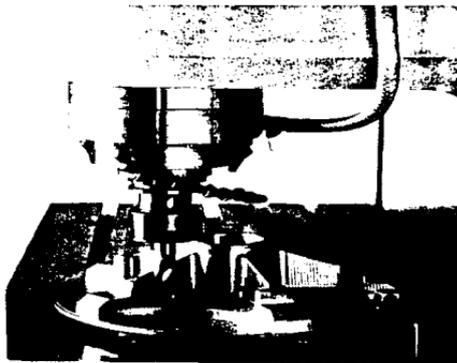


Figura 5.14 Maquinado de impulsor, con los datos del plano hecho en 3D se puede alimentar una fresadora con CN.

CAPITULO VI

ENSAMBL.E

VI.1 PROCESO DE MANUFACTURA DE LA BOMBA CENTRIFUGA

El diseño del proceso de manufactura de la Bomba Centrífuga, es un factor muy importante debido a que su principal función es la de integrar los recursos materiales, económicos y humanos por medio de la planeación para crear una metodología que satisfaga principalmente las necesidades del mercado nacional, tal como la disponibilidad del producto, precio de venta accesible, canales de distribución adecuados y por supuesto el éxito mismo de la Bomba Centrífuga, desde el punto que representa una alternativa para sustitución de importaciones dentro del mercado nacional.

En la actualidad la planeación de los procesos de manufactura, es una tarea compleja y delicada debido a que constantemente se desarrollan nuevas herramientas que buscan mejorar las etapas del mismo proceso, haciendo de cada etapa considerada sencilla, una etapa que cuenta con secuencias de pasos intermedios hasta volverla muy específica al involucrar tecnologías y filosofías de reciente aparición.

Como ejemplos de las nuevas tecnologías y filosofías encontramos:

"Automatización" que es auxiliada de elementos mecánicos, neumáticos e hidráulicos los cuales agrupan las tareas de manufactura para proponer un orden cronológico de las etapas de manufactura y poder repetir las miles de veces transformando a las tareas productivas libres de errores y de fatiga, esto ayuda a establecer estándares de producción en volumen y en calidad de los productos finales.

Por otra parte el "Aseguramiento de la Calidad", es una herramienta que por medio de normas internacionales como la ISO 9000, establece los procedimientos o manuales de operación de manufactura, para evitar la inspección del producto terminado que lleva mucho tiempo y busca asegurar la calidad del producto desde el proceso productivo.

De manera conjunta la "Seguridad Industrial" que involucra y cuida de manera sobresaliente, que el ambiente de trabajo y las condiciones laborales de los trabajadores sean las más favorables, para hacer del factor humano, el principal recurso que proporcione valor agregado a nuestros productos, ya que son factores altamente trascendentales en la calidad y en el volumen de productos.

Se mencionan estos temas, simplemente porque considero que la manufactura debe ser en todo momento dinámica y no estática, y aunque cada tema mencionado puede ser desarrollado y profundizado ampliamente, queda establecido que quizá signifiquen nuevas metas y nuevas estrategias de la Manufactura Mexicana.

Por tal motivo en este capítulo se muestra gráficamente mediante diagramas, una propuesta concreta para el proceso y los procesos que involucra la manufactura de la Bomba Centrífuga.

A continuación en la Figura 6.1 se describe el diagrama del proceso a emplear para la manufactura de la Bomba Centrífuga:

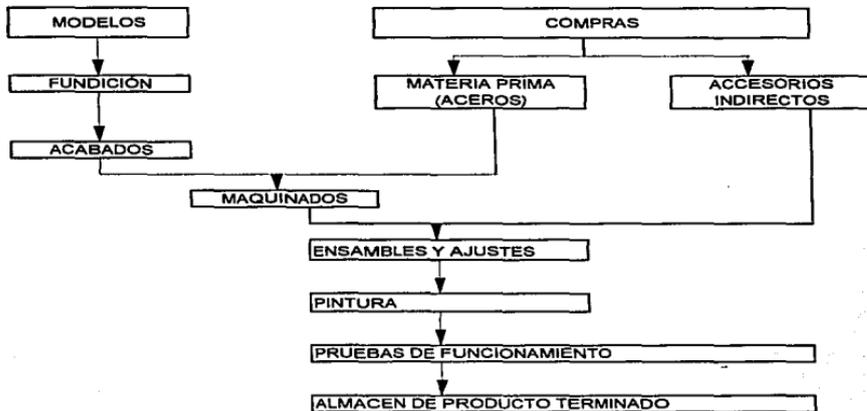


Figura 6.1 Diagrama de proceso para la manufactura de la Bomba Centrífuga.

De igual forma en la Figura 6.2 se propone el proceso a seguir para la obtención de modelos por fundición:

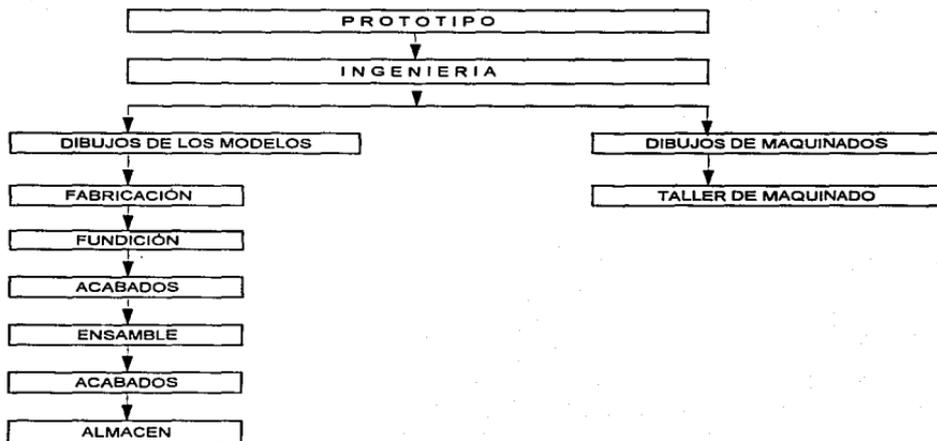
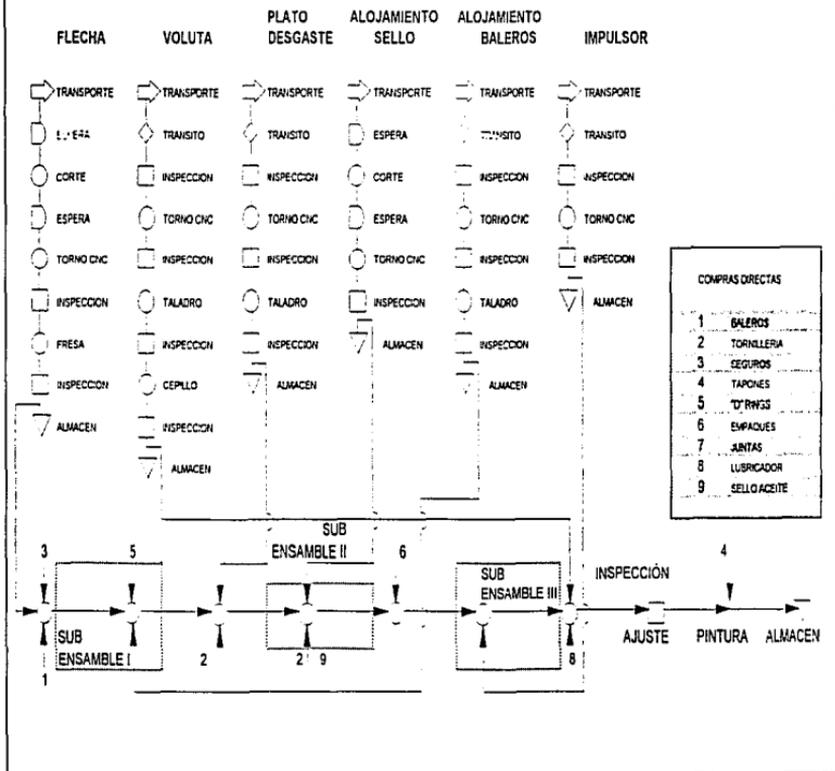


Figura 6.2 Diagrama de proceso de fundición para la obtención de modelos

DIAGRAMA GENERAL DEL PROCESO DE ENSAMBLE DE LA BOMBA CENTRIFUGA



Para los ensambles de los elementos o partes que conforman a la Bomba Centrífuga se propone en la Figura 6.3 el Diagrama General del ensamble de la bomba, además en las Figuras 6.3.A, 6.3.B y 6.3.C quedan señalados los subensambles producidos del diagrama general.

Figura 6.3 Diagrama General del proceso de ensamble de la Bomba Centrífuga.

DIAGRAMA DE PROCESO DEL SUB ENSAMBLE I

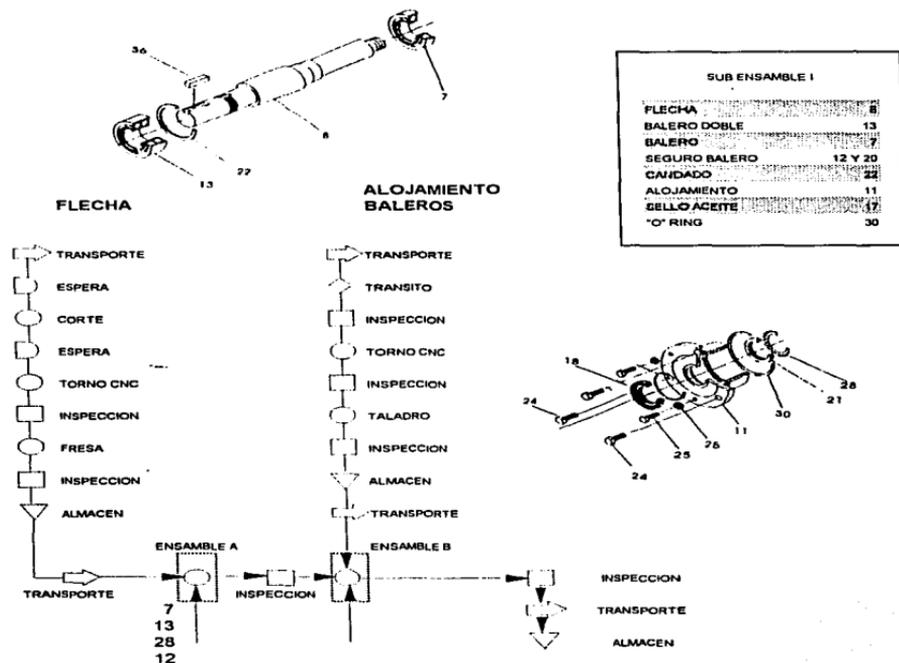
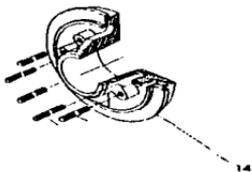


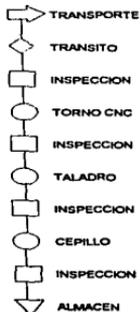
Figura 6.3.A Diagrama de proceso del Sub Ensamble I.

DIAGRAMA DE PROCESO DEL SUB ENSAMBLE II



SUB ENSAMBLE II	
SOPORTE DE BALEROS	14
PLATO DE DESGASTE	14
TORNILLERIA	27 Y 28
SELLO DE ACEITE	17
LUBRICADOR	16

SOPORTE DE BALEROS



PLATO DE DESGASTE

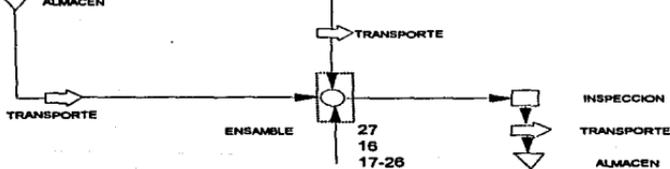
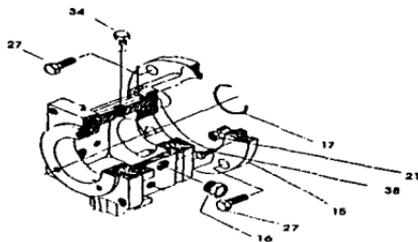
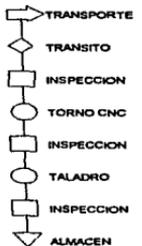


Figura 6.3.B Diagrama de proceso del Sub Ensamble II.

DIAGRAMA DE PROCESO DEL SUB ENSAMBLE III

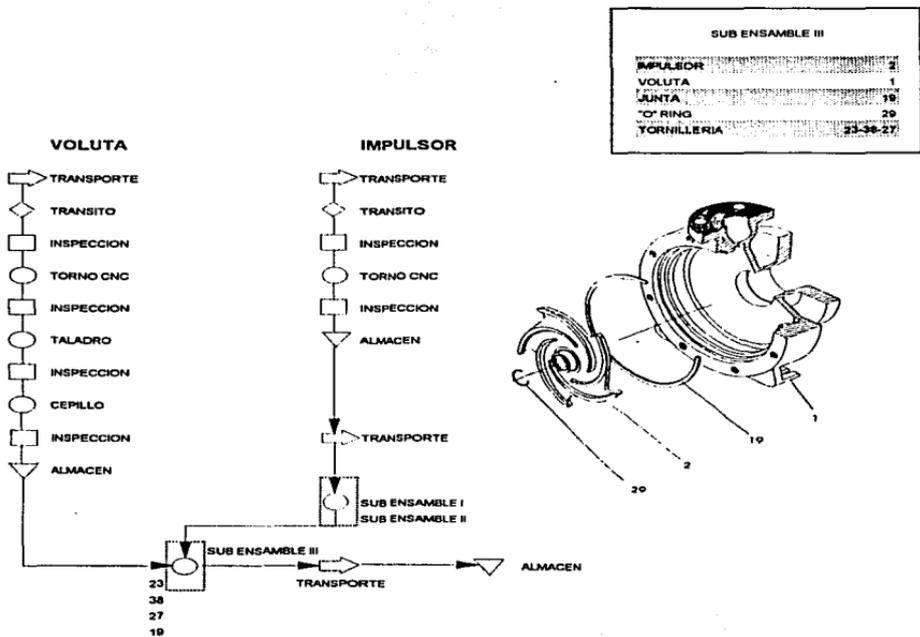


Figura 6.3.C Diagrama de proceso del Sub Ensamble III.

CAPITULO VII

GUÍA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

VII.1 INSTALACIÓN DE LA BOMBA

La bomba centrífuga debe ser colocada sobre una cimentación de concreto, de grosor libre, vaciado sobre suelo firme. La cimentación deberá tener la capacidad de absorber cualquier vibración y formar un soporte rígido y permanente a la unidad de bombeo, será anclada con pernos dentro de un tubo que permita los movimientos necesarios para su ajuste y debe descansar sobre cuatro cuñas por lo menos. (Figura 7.1)

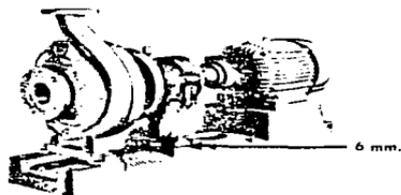


Figura 7.1 Para ajustes menores puede ser utilizado el perno de ajuste.

La alineación correcta de la bomba y el motor que lo impulsa son de importancia extrema para conseguir una operación mecánica libre de problemas. (Figura 7.2)



Figura 7.2 Buscar la alineación por medio de indicadores de carátula.

Toda tubería debe tener un soporte independiente de la bomba y alinearla con las bridas de la bomba, nunca debe quitar la tubería haciendo fuerza sobre las bridas de succión y descarga de la bomba, esto puede ocasionar esfuerzos peligrosos de la unidad y hasta un posible desalineamiento entre la bomba y el motor.

Si la bomba es puesta en marcha en dirección equivocada se le puede causar un daño considerable. Antes de acoplar, conecte el motor y cheque la rotación. La dirección de rotación se señala en la bomba. Asegúrese que el motor gira en la misma dirección.

VII.2 ANTES DE OPERAR LA BOMBA

Debe asegurarse que la bomba se encuentre lubricada con aceite, para evitar problemas de fricción y calentamientos no deseados, debe utilizar aceite de alta calidad tipo turbina con inhibidores contra la oxidación y corrosión, aproximadamente el aceite nos brinda un tiempo de operación continua de 2000 horas, el cual debe ser añadido o reemplazado después de 2 000 horas de operación o cada tres meses.

El aceite o lubricante de las cajas debe reemplazarse por lo menos una vez al año.

Antes de colocar el empaque de la caja, verifique que este completamente limpio y libre de residuos de materiales ajenos. Los materiales para los sellos mecánicos como carbón, cerámica, teflón, etc., los cuales son considerados materiales selladores deberán de ser adecuados para temperaturas hasta de 260 °C.

VII.3 ARRANQUE DE LA BOMBA

Debe revisarse que existe una rotación libre, girando la flecha con la mano y asegurándose que el elemento rotatorio gira libremente, si nota algún roce o freno:

- a) Revise que los pernos niveladores no estén demasiado apretados.
- b) Cheque la alineación.
- c) Quite las cargas de la tubería.

Asegúrese de regular perfectamente los líquidos de enfriamiento y de lubricación con válvulas en la línea de suministro las cuales deben de ser chequeadas periódicamente a fin de evitar que se obstruyan.

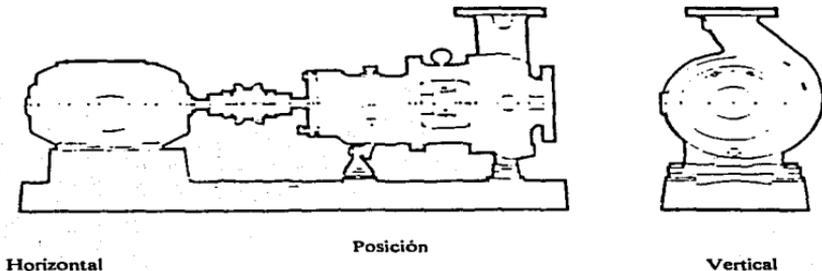
La bomba debe estar cebada y el tubo de succión lleno de líquido, antes de proceder al arranque. Si la bomba es arrancada en seco, las partes rotatorias dañarían a las partes estacionarias, ya que la lubricación depende del líquido que se bombea.

Con la bomba trabajando a una velocidad fija, trate de ajustar la caja de empaque tirando suavemente de la tuerca de la glándula hacia arriba, permitiendo al empaque el tiempo necesario para que se autoajuste. Si nota algún calentamiento apague la bomba de inmediato y deje que se enfríe la caja de empaque, serán necesarios varios arranques para que la caja trabaje fría. Recuerde que los empaques requieren de algún tiempo para adaptarse; y que durante ese tiempo es necesario una atención frecuente.

El sello mecánico viene ajustado, si gotea al arrancar la bomba, espere algunas horas de funcionamiento que le permita al sello ajustarse, NUNCA trabaje el sello en seco. Verifique que los líquidos refrigerantes operan regularmente en las líneas.

Después de que la unidad ha empezado a funcionar bajo condiciones normales de operación, por un tiempo suficientemente razonable para lograr la temperatura de operación, detenga la bomba y desconecte el coplee para checar la alineación y restablecerla si es necesario, si no, vuelva a conectar el coplee y después de una semana de operación, cheque el alineamiento final.

En la Figura 7.3 se observa la disposición del montaje de la Bomba Centrífuga, en dos posiciones, horizontal y vertical.



Posición
Figura 7.3 Montaje de la Bomba Centrífuga
Vistas laterales

VII.4 OPERACIÓN DE LA BOMBA

Los dispositivos de protección que se encuentran disponibles para evitar un posible daño son los siguientes:

1.- Un relevador de temperatura o termostato, para apagar la unidad si la temperatura del líquido interior excede de un máximo predeterminado. Este dispositivo protege contra cualquier posible daño debido al funcionamiento de la bomba contra una válvula cerrada.

2.- Un orificio de paso, abierto permanentemente entre la descarga de la bomba y cualquier chek o válvula reguladora de la línea de descarga. El líquido es devuelto a través del orificio a la fuente de succión. Este dispositivo previene el daño que pueda sufrir la bomba, si la válvula de descarga se cierra, o las condiciones de flujo fueran muy bajas.

3.- Un relevador de temperatura en los baleros, el cual apagaría la unidad si la temperatura en los baleros excediera los máximos predeterminados.

4.- Un control de presión de la succión, que apagaría la unidad si la presión de la succión bajaría de un mínimo preestablecido.

En una bomba centrífuga, nunca debe sofocarse el lado de la succión para ajustar la capacidad.

VII.5 PROBLEMAS MAS FRECUENTES DE LA BOMBA

a) No se establece el bombeo

La bomba no está cebada. La voluta y la tubería de la succión no están completamente llenas de líquido.

La velocidad demasiado baja. Checar que la bomba acoplada a un motor o a una turbina reciba la energía íntegra de los generadores de energía.

La altura de descarga es demasiado alta.

La altura de succión es demasiado alta con excesivas pérdidas por fricción.

El impulsor o el tubo de succión o la válvula de alivio están completamente obstruidos.

La dirección de la rotación es contraria, o el impulsor fue mal instalado.

Existen bolsas de aire en la línea de succión.

Filtración de aire en la línea de succión.

La altura de succión no es suficiente para el bombeo de líquidos calientes o volátiles.

b) Bombeo con insuficiente gasto

La bomba no está cebada. La voluta y la tubería de la succión no están completamente llenas de líquido.

La velocidad demasiado baja. Checar que la bomba acoplada a un motor o a una turbina reciba la energía íntegra de los generadores de energía.

La altura de descarga es demasiado alta.

La altura de succión es demasiado alta con excesivas pérdidas por fricción.

El impulsor o el tubo de succión o la válvula de alivio están completamente obstruidos.

La dirección de la rotación es contraria, o el impulsor fue mal instalado.

Existen bolsas de aire en la línea de succión.

La caja de estopero está rota o gastada.

Filtración de aire en la línea de succión.

La altura de succión no es suficiente para el bombeo de líquidos calientes o volátiles.

La válvula de pie es demasiado pequeña.

La válvula de pie o el tubo de succión no fueron sumergidos a la profundidad requerida.

Defectos mecánicos: El claro del impulsor quedó demasiado grande.

El impulsor está dañado.

c) Bombeo no tiene suficiente presión.

La velocidad demasiado baja. Checar que la bomba acoplada a un motor o a una turbina reciba la energía íntegra de los generadores de energía.

Penetraron aire o gases en el líquido.

El diámetro del impulsor es demasiado pequeño.

Defectos mecánicos: El claro del impulsor quedó demasiado grande.
El impulsor está dañado.

La dirección de la rotación es contraria, o el impulsor fue mal instalado.
Asegúrese que el medidor de presión esté en su lugar correcto, ya sea en la brida de descarga o en la tubería de descarga.

d) Bombeo intermitente

Hay goteo en la línea de succión.

La caja del empaque está quebrada o gastada o el sello del agua está obstruido, permitiendo la filtración de aire a la carcasa.

Hay bolsas de aire en la línea de succión.

La carga de succión no es suficiente para el bombeo de líquidos calientes o volátiles.

Hay aire o gases en el líquido.

La carga de succión es demasiado alta pues el tubo de succión es muy largo o corto, causando pérdidas por fricción.

El impulsor está obstruido.

Hay una obstrucción en la línea de succión o en la línea de descarga.

Los empaques de la voluta se han dañado.

e) Consumo de energía excesiva

Velocidad demasiado alta.

La carga es más baja que la estipulada en el diseño y la bomba trabaja con demasiado líquido.

El líquido es más denso de lo previsto.

Defectos mecánicos: La flecha está doblada.

El elemento rotatorio está desalineado.

El estopero está demasiado apretado.

El claro del impulsor está exagerado.

La dirección de la rotación es contraria, o el impulsor fue mal instalado.

f) Goteo excesivo en el estopero

El empaque está desgastado o le falta lubricación.

La empaquetadura fue colocada incorrectamente o no fue lo suficientemente insertada.

El empaque no fue seleccionado correctamente para el tipo de fluido que se iba a operar.

El mango de la flecha se rayó o tiene muescas.

La empaquetadura es insuficiente.

El sello mecánico está dañado.

g) Ruido y vibración en la bomba

Si es un ruido hidráulico-hueco, el nivel de la succión está demasiado alto (Cavitación).

Defectos mecánicos: La flecha está doblada.

Las partes rotatorias están aflojadas, rotas o desalineadas.

Los baleros están gastados.

El coplee de la Bomba está desalineado. (Figura 7.4)

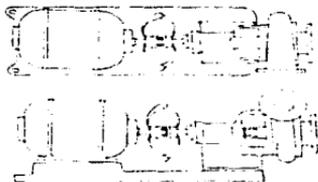


Figura 7.4 Problemas detectados frecuentemente con la alineación

h) Temperatura excesiva en los rodamientos

Desalineación en la bomba y el motor.

La capacidad de la bomba es demasiado baja.

La lubricación no fue hecha correctamente.

La vibración es excesiva.

La flecha está doblada.

El elemento rotatorio está desalineado.

VII.6 MANTENIMIENTO DE LA BOMBA

Lubricación

Los baleros que se lubrican por aceite se surten con una aceitera especial que mantiene el nivel de aceite en la caja de baleros.

a) Antes de instalar la aceitera sobre la caja de baleros, cheque el ajuste del nivelador de aceite.

b) Instale el nivelador de aceite.

c) Quite el tapón del llenador de aceite, en el soporte de baleros de la bomba, y llene de aceite hasta el nivel que se indica en el mismo cuerpo del soporte.

Nunca aplique aceite al sistema por otro lado si no es usada la aceitera.

Ajuste del claro del impulsor

Si se suscita una pérdida gradual en la carga y/o en la capacidad o gasto, puede restablecerse el comportamiento normal ajustando el impulsor. Si después de este ajuste no se consigue la normalización de la unidad, desensamble la bomba e inspeccione el desgaste del impulsor y de la carcasa. Para el ajuste del claro del impulsor, utilice un calibrador de galgas o un indicador de carátula. (Figura 7.5)

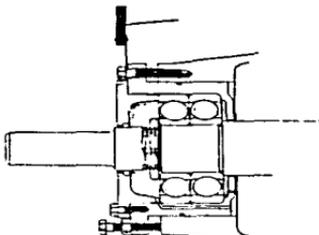


Figura 7.5 Cuando exista una pérdida gradual en la carga revise y ajuste el claro del impulsor

Desmontaje

La lista de partes y el dibujo de conjunto contienen un listado completo de los elementos de la bomba con los números correctos de identificación de la parte (ver Figura 1.3 y Tabla 1.0 del Capítulo I), para los servicios de mantenimiento y cuando se necesiten refacciones.

Para preparar el desmontaje de la bomba, proceda como se indica a continuación:

- a) Cierre el suministro de energía al motor.
- b) Cierre las válvulas de control de flujo hacia y de la bomba.
- c) Quite toda conexión auxiliar.
- d) Lave la bomba, cuidando de quitar las partículas tóxicas y corrosivas.
- e) Descalope (quite el coplee especial).
- f) Extraiga el aceite.
- g) Para unidades con empaquetadura, destornille y quite la glándula partida.

Para la operación propia de desmontaje (Figura 7.6), siga la secuencia citada:

- 1.- Coloque el gancho de la garrucha en el tornillo de soporte del cuerpo de la bomba.
- 2.- Quite los pernos de la caja de baleros.
- 3.- Quite los pernos que sostienen la caja o adaptador a la carcasa.
- 4.- Deslice el ensamble hacia atrás de la voluta.
- 5.- Quite el empaque de la voluta.
- 6.- Destornille el impulsor de la flecha.
- 7.- Retire los sellos mecánicos sin dañar sus caras.
- 8.- Quite los pernos que mantienen la cubierta de caja de estoperos al adaptador.
- 9.- Afloje el juego de tornillos que presionan la parte giratoria del sello a la flecha y deslicelo fuera de la flecha.
- 10.- Deslice el deflector de la flecha.

- 11.- Señale con una marca la posición de la flecha sobre el mamelón del coplee y quitelo.
- 12.- Quite los pernos de la caja de baleros.
- 13.- Quite completo el ensamble de la flecha de la caja de baleros sin dañar el interior del sello de aceite.
- 14.- Quite el balero interior usando un extractor. NO use martillo.
- 15.- Quite el anillo retén de la caja de baleros y deslicelo fuera del balero de bolas.
- 16.- Enderece el perno en la arandela de seguridad y retire la tuerca del balero.
- 17.- Quite el empaque y el anillo-linterna de la cubierta de la caja de estopero.

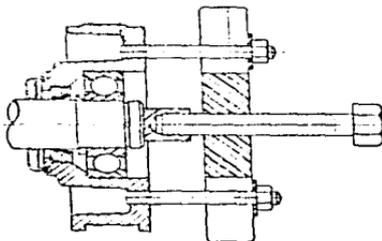


Figura 7.6 Extracción de baleros de bolas, encuadrando siempre la barra del extractor con el final de la flecha.

VII.7 INSPECCION Y REHABILITACION GENERAL DE LA BOMBA

La inspección contempla los siguientes elementos:

- 1.- Impulsor. Reponga el impulsor si muestra excesiva erosión (especialmente sobre las aspas), corrosión, desgaste extremo o rotura de aspas. El "O ring" y el cubo del impulsor deben estar en buenas condiciones. Cheque el balanceo del impulsor.
- 2.- Flecha. Cheque que la flecha no ha sido flexionada, la superficie de esta debe estar lisa y libre de asperezas. Las cuerdas de la flecha deben estar en buenas condiciones. Metalice la flecha o reemplácela en caso necesario.
- 3.- Manguito. La superficie del manguito en la caja de estopero debe estar lisa y libre de desgaste. Si está desgastado, reemplácelo.
- 4.- Sello mecánico. Las caras del sello, la empaquetadura y las partes del sello deben estar en buenas condiciones, o puede ocasionar un goteo excesivo. Reemplace las partes dañadas.
- 5.- Baleros de bolas. Reemplácelos si están defectuosos, flojos o ásperos; o si hacen ruido cuando giran.

6.- Sellos de aceite. Si han sufrido daño reemplácelos ya que ellos se mantienen por una presión apropiada y los bordes de los sellos deben de dar la cara hacia afuera de los baleros.

7.- General. Todas las partes deben estar limpias antes del ensamble. Especialmente el anillo retén y las ranuras del "O ring", cuerdas, prisioneros, superficies de empaques, baleros y áreas lubricadas; cualquier rebaba quite se con peróxido de hierro.

VII.8 REENSAMBLE DE LA BOMBA

Este procedimiento cubre el reensamble de la bomba cuando se ha desarmado completamente y asegúrese que la inspección y el reemplazo necesario de las partes de la bomba se ha llevado a cabo. (Figura 7.7)

1.- Lubrique el asiento del balero en la flecha del lado del coplec. Deslice el balero sobre la flecha, tan lejos como sea posible con la mano. Coloque el manguito sobre la flecha y asegúrese de que éste descansa solamente sobre la pista interior. Asegúrese de que el balero está en escuadra con la flecha. Presione hasta que el balero esté colocado firmemente contra el borde de la flecha.

2.- Coloque la arandela de seguridad y la contratuerca del balero en la flecha, y apriete firmemente.

3.- Deslice la caja de baleros con el "O ring" en su lugar, sobre la flecha y sobre el balero tan lejos como sea posible. Sin dañar el sello de aceite.

4.- Inserte el anillo retén en la ranura de la caja de baleros. El lado plano del retén debe estar contra el balero.

5.- Lubrique el asiento del balero interior sobre la flecha, deslice el balero sobre la flecha con la mano, tan lejos como sea posible. Coloque el manguito sobre la flecha y asegúrese de que éste descansa solamente sobre la pista interior. El balero debe estar a escuadra con respecto a la flecha.

6.- Aplique un poco de aceite lubricante en el "O ring" sobre el lado interior de la caja del balero, en la caja y asientos interiores, así como en el interior del sello de aceite. Deslice cuidadosamente el ensamble de la flecha dentro de la caja de baleros hasta el tope. Asegúrese que el "O ring" está en su lugar, es decir, en la ranura de la caja. Atornille los pernos de la caja de baleros aproximadamente 12 mm dentro de la caja de baleros.

7.- Deslice el deflector sobre la flecha.

8.- Asegúrese que antes de montar cualquier sello mecánico, deben limpiar las caras de éste con un trapo suave y limpio y lubricarlas con aceite limpio. Debe efectuar un ajuste preliminar para asegurarse de que la posición del sello mecánico es la correcta.

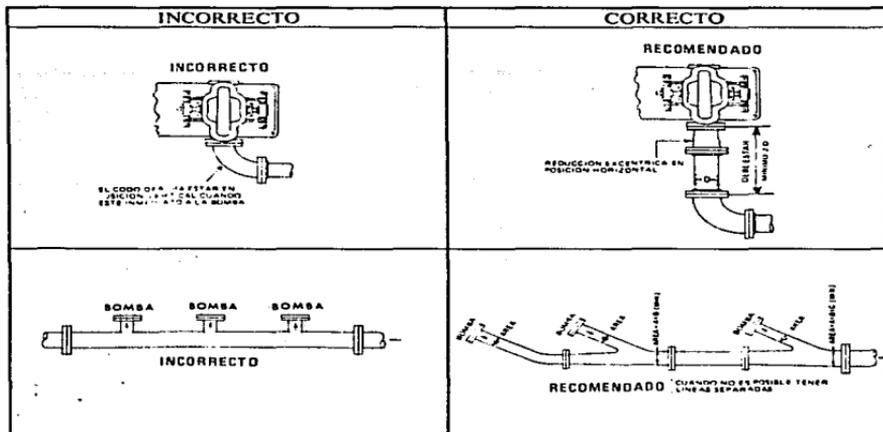


Figura 7.7 En las Bombas Centrifugas es muy importante que la instalación de la tubería de succión sea la apropiada para una operación sin problemas, en esta figura se muestra el comparativo de correcto e incorrecto, para la disposición de las tuberías.

CONCLUSIONES

La situación de competencia y de liderazgo a niveles comerciales obliga a los sectores empresariales a replantear sus filosofías de fabricación y producción, buscando la productividad de sus procesos, la economía de sus procedimientos y la flexibilidad de producir diversos productos, así como seguir con políticas de gestión de empresas cada vez más ambiciosas que buscan que los medios de producción sean capaces de adecuarse fácil y rápidamente a una gama cada vez más amplia de productos para satisfacer y atender las necesidades del mercado.

Una alternativa importante para provocar que el desarrollo de un proceso sea productivo y flexible, es la implementación de las computadoras para los procesos de fabricación, como ejemplo se encuentran las máquinas de medición, máquinas-herramientas con control numérico, etc., pero a pesar de saber que las computadoras agilizan y revolucionan a los antiguos procesos, porque reducen el margen de error y substancialmente el tiempo invertido en las diferentes etapas de producción, se entiende que los problemas que origina la aplicación de una tecnología nueva se deben en gran parte a que en ocasiones no se conocen y la utilización de dichos medios se vuelve gradual.

Por lo anterior, en la presente tesis se buscó dar un panorama general de lo que involucra y significa utilizar la Ingeniería Inversa, como herramienta de diseño y manufactura así como hacer conciencia de las ventajas, limitaciones y requerimientos para su uso.

De tal forma cuando existe un prototipo pero faltan los planos o especificaciones, estos modernos equipos pueden hacer Ingeniería Inversa. Realizando el proceso de producción en sentido contrario, comenzando con una máquina que "palpa" la geometría de la pieza y envía las dimensiones al CAD para construir dibujos en tres dimensiones, el análisis con CAE y posteriormente a la manufactura de la pieza con auxilio de CAM. La manufactura entendida de este modo no sólo ahorra tiempo y costos en el proceso de diseño, si se proyecta un prototipo se puede maximizar la eficiencia de los materiales y conseguir ahorros de manufactura y materias primas, para que el producto final resulte más económico en costo y en precio de venta, para hacer que el producto final sea competitivo.

En base a los resultados obtenidos con la aplicación de Ingeniería Inversa en el proceso de manufacturar piezas para la sustitución de refacciones de importación, se recomienda utilizar esta herramienta debido a su gran versatilidad e inclusive para su desarrollo e implantación en un centro de manufactura se debe tomar en cuenta para asegurar que tenga éxito, integrar un grupo de trabajo con personas conocedoras de diversas áreas o expertas en las técnicas de manufactura. Por el lado de la tecnología tiene ventajas significativas, de las cuales podemos mencionar:

MESA DE MEDICIÓN POR COORDENADAS

Las máquinas de medición por coordenadas eliminan parte de los inconvenientes de la inspección manual y mejoran notablemente la productividad. Los tiempos de medición en máquina son del orden del 5 al 10% de los tiempos de inspección manual. Pero continua siendo una inspección fuera de línea y sobre piezas ya mecanizadas. Las técnicas avanzadas de automatización precisan elementos de inspección en la misma línea de mecanizado y la utilización de técnicas de control adaptativo y preventivo para asegurar la calidad y la productividad de la instalación.

CAD-CAE-CAM

Sin duda alguna la tecnología CAD-CAE-CAM ha despertado muchas inquietudes en un creciente número de ingenieros y empresarios mexicanos, comenzando por la facilidad de manejo gracias a nuevas habilidades del software, al abaratamiento de los equipos de cómputo y sobre todo a la demanda de los mercados industriales, que buscan sobresalir reduciendo sus ciclos de producción utilizando estándares y normas más estrictas, así como integrándose a cadenas productivas que utilizan estas herramientas tecnológicas.

Durante muchos años los equipos de control numérico y la automatización del diseño y de la producción ha sido utilizada sobre todo por los grandes manufactureros, sobre todo la industria automotriz, actualmente lo novedoso es el poder usar una computadora para integrar estas actividades a un bajo costo y con mayor flexibilidad permitiendo que cada vez más gente se involucre en los problemas, generando que con mayor frecuencia se encuentre la solución sobre un escritorio de ingeniería, de los problemas posibles.

EL DISEÑO EN MÉXICO

En la época del proteccionismo industrial, el mercado no generaba grandes innovaciones ni una alta calidad en sus productos, debido a que la comercialización de los productos o servicios eran seguros, por ello se ofrecieron los mismos productos por más de 20 años, con la apertura comercial y la necesidad de integrar nuevos estándares de calidad, automáticamente se abrieron oportunidades a empresas ingeniosas y emprendedoras, capaces de ofrecer productos a la altura de las demandas del mercado internacional, de hecho no existe una verdadera cultura de diseño en México, solamente el comienzo de hace algunos años.

En ocasiones, la industria no cuenta con los recursos; el dinero, ni el tiempo para crear sus propios departamentos de diseño, pero es necesario recordar que como alternativa se encuentran las universidades y los tecnológicos que cuentan con los recursos en materia de CAD-CAM y CAE.

Esto traería como consecuencia una importante relación Escuela-Industria que podría obtener mejores resultados formando una nueva cultura de diseño en nuestro país. Por diseño se entiende imaginar una serie de soluciones, evaluar y analizar el proyecto en términos de

ingeniería , hacer un prototipo y validarlo, generar un proceso de manufactura costeable y mandarlo a producción, este es realmente el proceso completo de diseño que en muy pocos lugares se hace.

QUE SIGNIFICA CAE PARA CAD-CAM

Aún con la impresionante versatilidad de los paquetes CAD-CAM no deben alentar falsas expectativas, por encima de todo diseño industrial existe una lógica de ingeniería que no se puede olvidar, a riesgo de diseñar productos inútiles.

Para todo proceso de diseño existe una secuencia bien establecida, CAE va antes de CAM y es realmente donde se analizan los términos y condiciones de trabajo, pero el problema es que requiere mucha más preparación del usuario, simplemente para introducir los parámetros que solicita el software o para interpretar los resultados que muchas veces requieren estudios especializados. El ingeniero debe tener la capacidad de reconocer el modelo matemático aplicable. Si se diseña un determinado aparato, se requiere definir el material que se va a utilizar, la forma en que se unirán las piezas, etc.

Contra lo que se piensa, la utilización de herramientas informáticas no desplaza personal técnico ni tiene como objetivo reducir la planta de ingenieros. En el mejor de los casos permite su aprovechamiento integral y genera nuevas demandas de capacitación y especialización, resumiendo, la confiabilidad del software depende de la confiabilidad del usuario, finalmente es quien define el nivel del uso y rendimiento del equipo de trabajo (software y hardware).

ENTRE EL DIBUJO Y EL MAQUINADO.

En la actualidad se puede dibujar directamente en tres dimensiones y pasar a ingeniería para análisis y validación del proceso de manufactura, incluso antes de pasar a una máquina de control numérico se puede simular el maquinado en pantalla y hacer las correcciones necesarias, finalmente los datos son alimentados a una máquina-herramienta con control numérico o las modernas impresoras de estereolitografía en resina para obtener un prototipo que servirá de molde para la manufactura final.

APENDICE A

DEFINICIONES DE MANUFACTURA

Manufactura.- Es colocar en orden las operaciones o actividades que incluyen diseño de producto, selección de material, planeación, producción, inspección, manejo y comercialización del producto.

Proceso de manufactura- Es el nivel más bajo en lo referente a las actividades de manufactura. Son los procesos tradicionales de maquinado, como por ejemplo, el torneado, fresado y cepillado, así como los procesos más avanzados, donde no existe desprendimiento de viruta como son electroerosión, electroquímica, etc.

Producción de manufactura.- Es una serie de procesos adaptados para fabricar un producto en específico, estos procesos no incluyen actividades tales como diseño, planeación y control de la producción.

Ingeniería de manufactura- Aquí se comprenden diversas actividades tales como diseño, operación y control del proceso de manufactura (planeación, tiempos y movimientos de control de la producción y por supuesto calidad), es la parte medular del proceso, por lo que requiere conocimientos de diseño, planeación y control de sistemas de manufactura, así como la ayuda de otras disciplinas como ingeniería eléctrica, mecánica, de materiales, química y de sistemas.

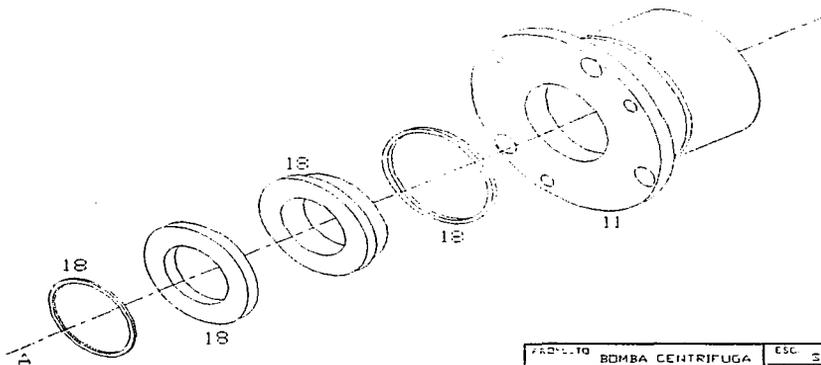
Sistemas de manufactura.- Como objetivo principal es interconectar todas las operaciones que se realizan fuera de la planta de producción para lograr una optimización de la productividad del sistema como son tiempos de producción, costos y utilización de las máquinas. Las actividades que se incluyen son diseño, planeación, manufactura y control.

APENDICE B

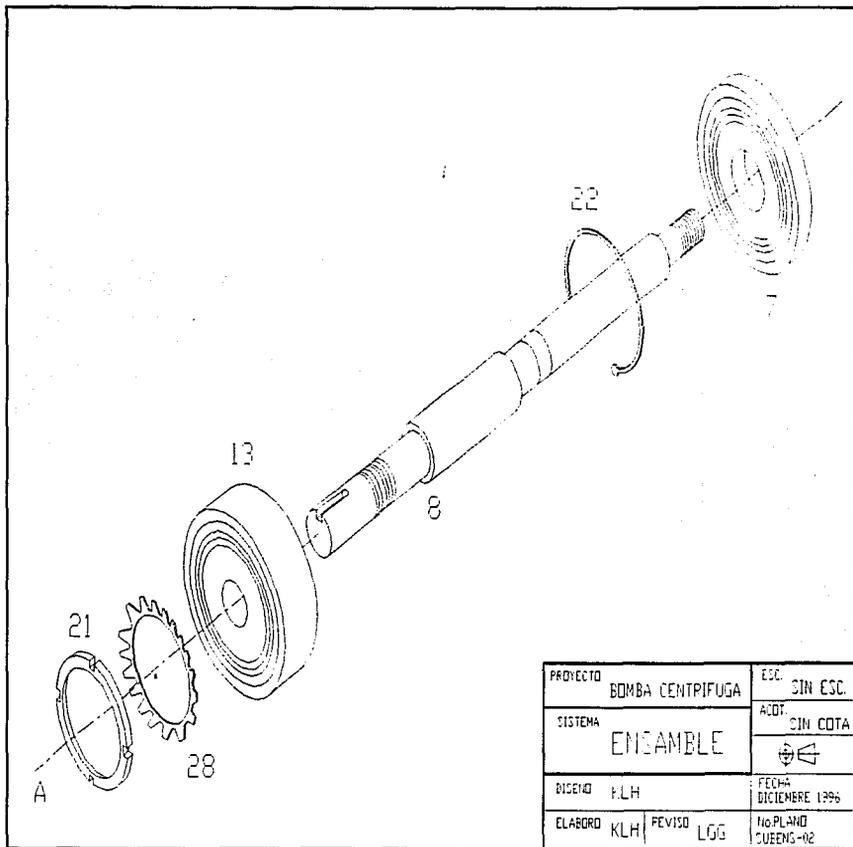
PLANOS DE LOS SUBSISTEMAS Y VISTAS DE LA BOMBA CENTRIFUGA

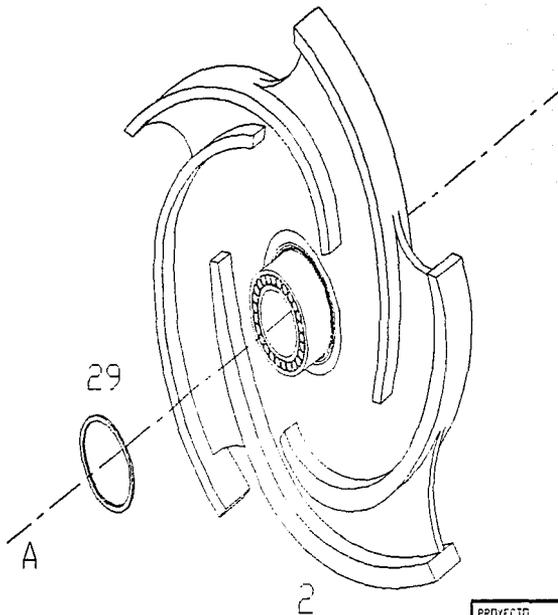
Se presentan a través de planos las proyecciones o vistas de los subsistemas de la Bomba Centrífuga realizados en AutoCad, como una descripción más detallada de las características de la Bomba, al mismo tiempo sea ejemplifica mediante dibujos o planos las posibilidades y alcances del diseño asistido por computadora.

Los planos que a continuación se muestran, están dispuestos secuencialmente respecto al número de plano, se enumeran diferentes elementos para su ubicación y señalización, ya que corresponden a la lista de partes y materiales de la Bomba Centrífuga, Tabla 1.0, del capítulo I de esta tesis.

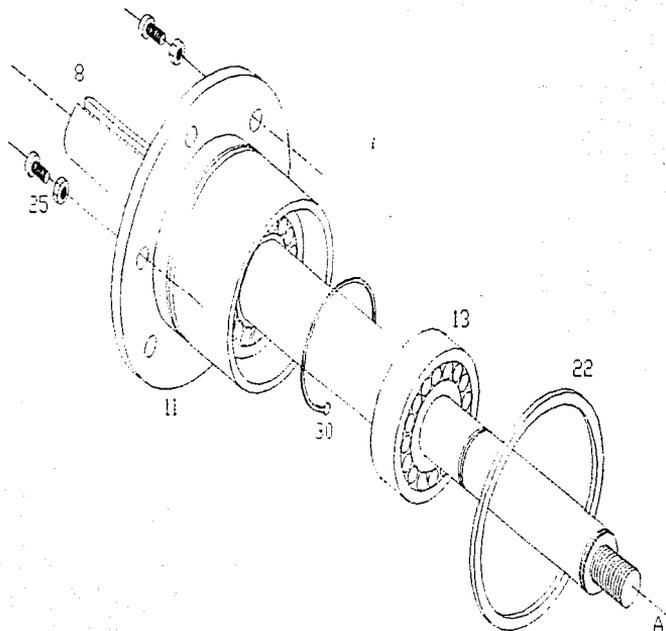


PRODUCTO	BOMBA CENTRIFUGA	ESC.	SIN ESC.
SISTEMA	ENSAMBLE	ACOT.	SIN COTA.
DISEÑO	KLH		FECHA DICIEMBRE 1996.
ELABORO	KLH	REVISO	LGG
			NO. PLANO SUSPENS-01

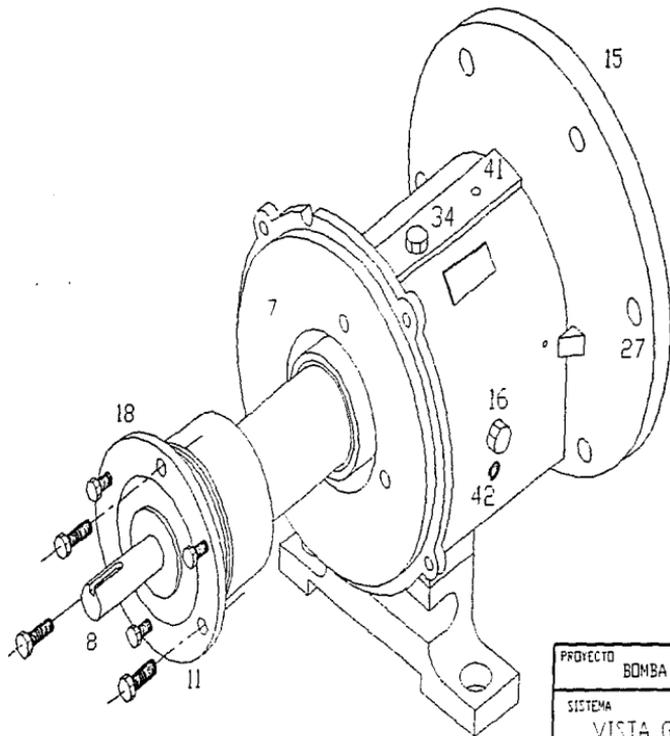




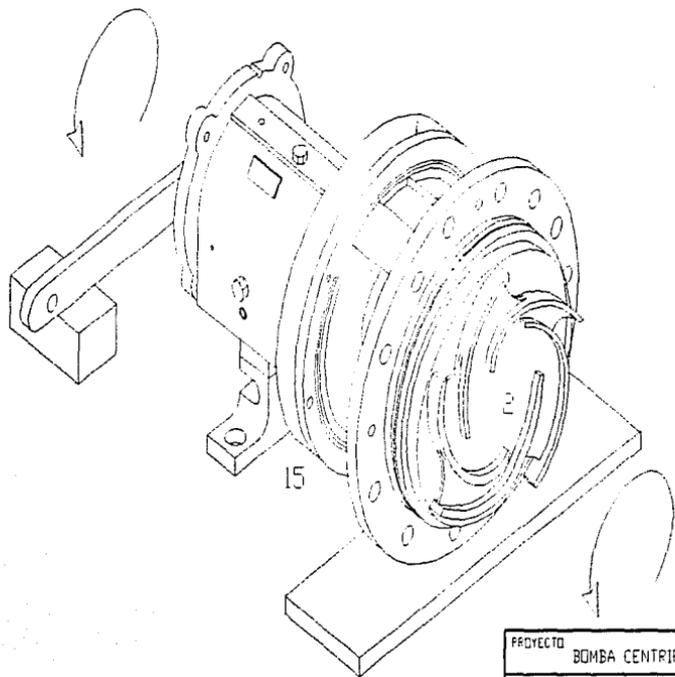
PROYECTO	BOMBA CENTRIFUGA	ESC.	SIN ESC.
SISTEMA	ENSAMBLE	ACOT.	SIN COTA
DISEÑO	KLH	FECHA	DICIEMBRE 1996
ELABORO	KLH	REVISO	LGG
			NO PLANO SUBENS-03



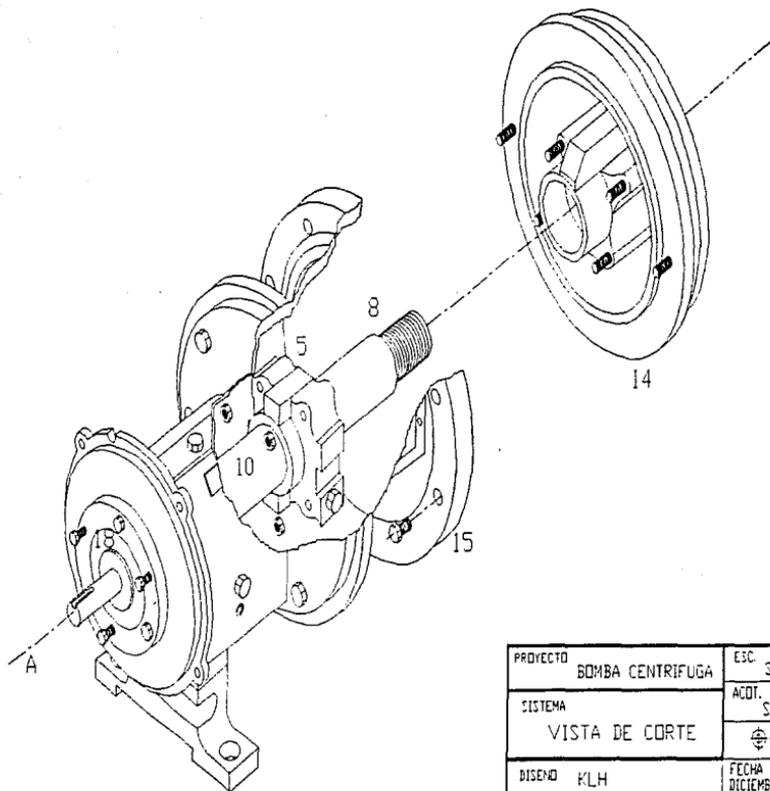
PROYECTO	BOMBA CENTRIFUGA	ESC	SIII ESC.
SISTEMA	ENSAMBLE	ACOT	SIN COTA
DISEÑO	KLH	FECHA	DICIEMBRE 1996
ELABORÓ	KLH	REVISÓ	LGG
			No PLANO CUBENS-04



PROYECTO	BOMBA CENTRIFUGA	ESC.	SIN ESC.
SISTEMA	VISTA GENERAL	ACOT.	SIN COTA
DISEÑO	KLH		FECHA DICIEMBRE 1996
ELABORO	KLH	REVISO	LOG
			No PLANO ENS-M



PROYECTO	BOMBA CENTRIFUGA	ESC.	SIN ESC.
SISTEMA	VISTA GENERAL	ALDT.	SIN COTA
DISEÑO	PLH		
ELABORO	KLH	REVISO	LOG
		FECHA	DICIEMBRE 1996
		Nº PLANO	ENS-02

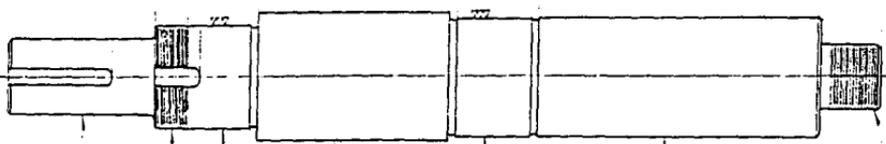
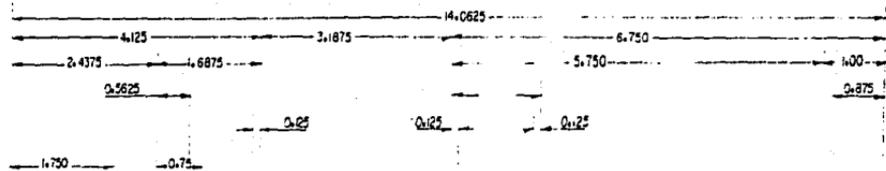


PROYECTO	BOMBA CENTRIFUGA	ESC.	SIN ESC.
SISTEMA	VISTA DE CORTE	ACOT.	SIN COTA
BISEÑO	KLH	FECHA	DICIEMBRE 1996
ELABORO	KLH	REVISO	LGG
		No. PLANO	ENS-03

APENDICE C

PLANOS TÉCNICOS DE MANUFACTURA

Los planos de manufactura que corresponden al sistema "flecha-impulsor" se muestran a continuación, estos planos contienen todas las especificaciones técnicas de manufactura, herramientas y acabados. Los planos que están incluidos en este apéndice corresponden a las dimensiones y acabados superficiales de la flecha, del alojamiento de baleros y de la contravoluta, también llamada plato de desgaste, como ejemplos para el trabajo.



0.8750
0.8743 #

CUERDA DE ACERO
#1730 - 18HF
DIA MAYOR: 1.1730
DIA DE PASO: 1.635/1.1594
DIA MENOR: 1.1014

1.1814
1.1810

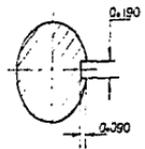
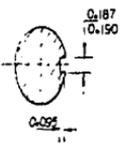
1.500 ±

1.3785 ±
1.3781 ±

1.3750 ±
1.3745 ±

CUERDA DE ACERO
DIA MAYOR: 0.7500
DIA MENOR: 0.6273/0.6223

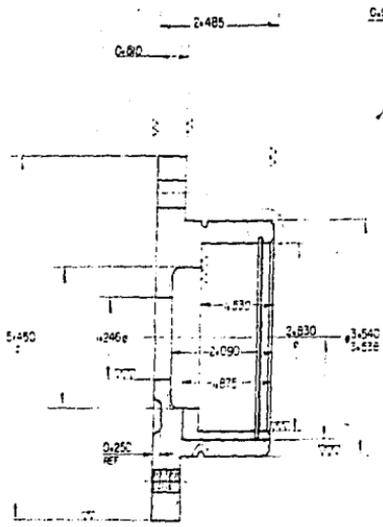
MATOR FILOS D=08 ± 45°



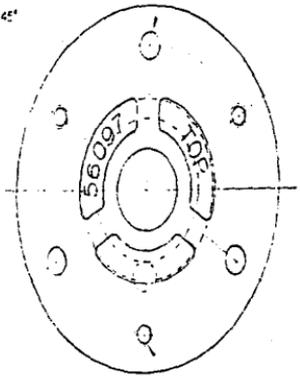
0.300

R=0.015

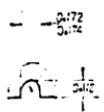
ACABADO:	ASPERO	0	FRACCIONES	± 1/16	F I L E C M P U L S O R	111-11170	BOMBA CENTRIFUGA	ESC	111
	REGULAR	20	DECIMALES	± 0.05		SISTEMA SUB ENSEMBLE	ACT	PULO.	
	FINO	700	ANGULARES	± 0.01		MATERIA	NO SE PUE		
						0.300	111-111		NO P. END



3 BARRENOS PASADOS DE 1/8"
ESQUE OR. D. C. DE 1/8"



3-BARRENOS PASADOS DE 1/8"

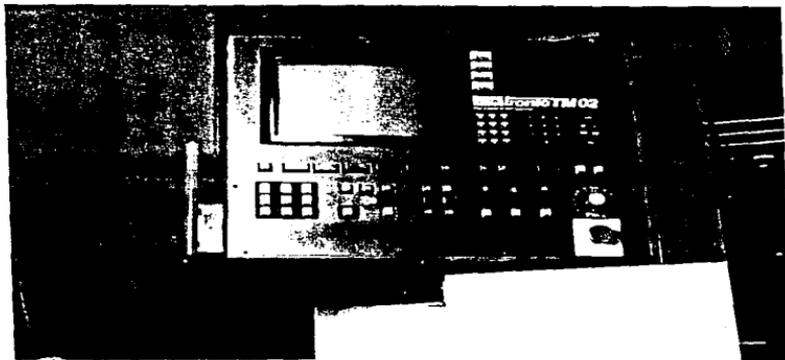


USAFACED	TELEFONOS PARA BARRERAS EX-LIBRE TELEFONOS	1/8"	56001	10F	1.500
APERTURAS	FABRICACIONES = 1/8"				
REG. LAB.	DESMALTES = 1/8"				
FINO	ANGULARES = 1/8"				

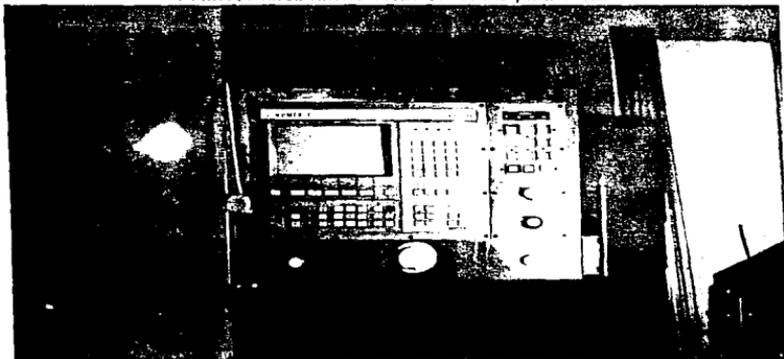
A L C J A M I E R T O	B D E T E R M I N A D O	56001	10F
		BOMBA CENTRIFUGA	S/ESC
		SISTEMA	1/8"
		SUB-ENSAMBLE I	PULG
		MATERIA	1/8" PART
		WROD DRIS	
		DRUM	REF. N. F. AN.

APENDICE D

TORNOS CON CONTROL NUMÉRICO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



Control Marca EMCOTRONIC TM02 para Torno

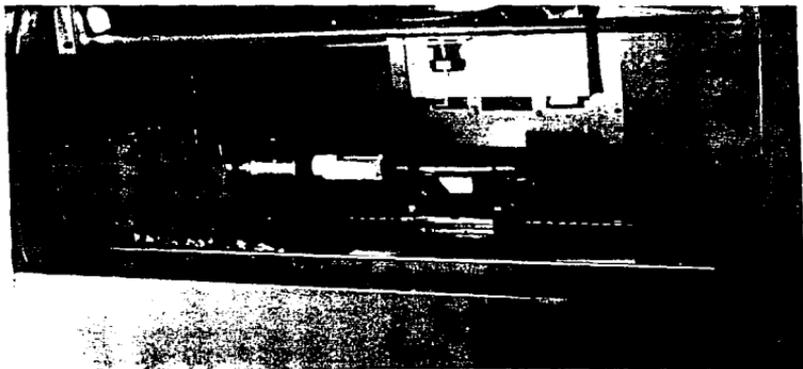


Control Marca SIEMENS para Centro de Maquinado EMCO VMC-300

APÉNDICE



Centro de Maquinado EMCO VMC-300



Parte Interna del Centro de Maquinado EMCO VMC-300

APÉNDICE



Cortadora Laser EMCO LS 140 con CNC

BIBLIOGRAFIA

- [1] Abella Robert J., Daschbach James M., CMM application in reverse engineering, "Integrating CMM with CAD-CAM for existng parts without drawings" Society of Manufacturing Engineers; 1989, EUA.
- [2] T.M. Sobh, Owen Jean C., "A sensing strategy for the Reverse Engineering of Mechined Parts" Journal of Intelligent and Robotic Systems, August 1995
- [3] T.M. Sobh, Owen Jean C., "Industrial Inspection and Reverse Engineering" CAD-Based Vision Workshop, February 1994
- [4] Nava Carbellido Alfredo "Ingenieria Inversa aplicada al diseño y construcción de modelos" Tesis de Licenciatura, UNAM, México, 1995
- [5] Oliver Villalpando Alfonso "La Ingenieria Inversa en el área de Manufactura" Tesis de Licenciatura, UNAM, México, 1994
- [6] Owen Jean C. "CMM's for process control" Society of Manufacturing Engineers, Magazine, August 1991
- [7] Brown & Sharpe "Micro Validator Manual" Mfg. Co., EUA, 1989

- [8] **Revista Manufactura**
"CAD/CAM"
Grupo editorial expansión, Volumen 3, Número 16, Septiembre 1996
- [9] **Kennedy E.Lee, Abdal Berini**
"CAD dibujo, diseño, gestión de datos"
G Gill, Barcelona, 1988
- [10] **Osornio Correa Cuitlahuac**
"Aplicaciones del CAD"
Tesis de Maestria, UNAM, México, 1994
- [11] **Colin Austin**
"Concurrent design brings out the best in CAE"
Plastics Engineering, EUA, December 1991
- [12] **Hernández Alvarez Jose Manuel, Vidal Cortés Isidro**
"CAE"
Tesis de Licenciatura, UNAM, México, 1992
- [13] **Hawkes, Barry, Hurtado M. Tomas**
"CAD/CAM"
Marcombo, Barcelona, 1987
- [14] **Ferre Masip Rafael**
"Fabricación asistida por computador CAM"
Marcombo, Barcelona, 1987
- [15] **Alique López Jose Ramon**
"Control Numérico"
Marcombo, Barcelona, 1981
- [16] **Juan Gonzalez Nuñez**
"El Control Numérico en las máquinas-herramientas"
Continental, 1990

- [17] Watty Bordes, Eduardo
"CNC en máquinas-herramientas"
Tesis de Licenciatura, UNAM, México, 1987
- [18] Salas Mercado Gabriel
"CNC y programación en máquinas-herramientas"
Tesis de Licenciatura, UNAM, México, 1990
- [19] Revista Manufactura
"Automatización"
Grupo editorial expansión, Volumen 3, Número 21, Marzo 1997
- [20] Joseph Edward Shigley, Charles R. Mischke
"Diseño en Ingeniería Mecánica"
Mc.Graw Hill 1990
- [21] Leslie Charles Mott
"Engineering materials for M.E.T."
Oxford U.P.
- [22] Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston
"Mecánica de materiales"
Mc.Graw Hill 1982
- [23] F. R. Shanley
"Mecánica de materiales"
Mc.Graw Hill 1971