

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA, ELÉCTRONICA Y
AMBIENTAL**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**



**“AUTOMATIZACIÓN DE UNA FRESADORA MEDIANTE CONTROL
NUMÉRICO COMPUTARIZADO”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

QUISPE ROJAS, ODRIEL WILDO

Villa El Salvador

2016

DEDICATORIA

A Dios que es fuente de todo conocimiento por guiar mis pasos e iluminar nuestras vidas.

A todas aquellas personas que con su ayuda me ha permitido culminar con éxito este proyecto de grado, a mis padres, hermanos, amigos, familiares.

AGRADECIMIENTO

A mis padres quienes con su sacrificio me han enseñado la responsabilidad y la abnegación al trabajo.

A mis hermanos y familiares que de una u otra manera siempre han estado a mi lado apoyándome y dándome valor para poder alcanzar las metas propuestas.

INDICE

INDICE	IV
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	3
1.2 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA	4
1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.4 FORMULACION DEL PROBLEMA	5
1.4.1. <i>Problema General</i>	5
1.4.2. <i>Problemas Específicos</i>	5
1.5 . OBJETIVOS.....	6
1.5.1. <i>Objetivos General</i>	6
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	6
CAPITULO II	7
MARCO TEORICO	7
2.1. ANTECEDENTES	7
2.2.- BASES TEÓRICAS	9
2.2.1. <i>Máquinas herramientas</i>	9
2.2.2. <i>La fresadora</i>	9
2.2.2.1. Partes de la fresadora	10
2.2.2.2. Cadena cinemática de una fresadora	12
2.2.2.2.1. Transmisión del movimiento al eje principal	12
2.2.2.2.2. Transmisión del movimiento a la caja de cambio de avances	13
2.2.2.3. Caja de cambios para avances y mecanismos de inversión	14
2.2.2.4. Trasmisión del movimiento a los mecanismos de consola	14
2.2.2.5. Lubricación de la cadena cinemática	15
2.2.2.5.1.Lubricación forzada.....	16
2.2.2.5.2. Lubricación semiautomática.....	16
2.2.2.5.3. Lubricación por barboteo.....	16
2.2.2.6. Movimientos de los carros	17
2.2.2.7. Cinemática de máquinas-herramientas.....	17
2.2.2.7.1. Forma geométrica de componentes de ingeniería	18
2.2.2.7.2. Cargas Cinemáticas de máquinas-herramientas	19
2.2.2.8. Características de cinemáticas de máquinas-herramientas	20
2.2.3. <i>Control Numérico Computarizado</i>	21
2.2.3.1. Sistemas de control	22
2.2.3.1.1. Sistemas de lazo abierto	22
2.2.3.1.2. Sistema de lazo cerrado	24
2.2.3.2. Tipos de control de las máquinas-herramienta con cnc.....	25
2.2.3.3. Control numérico computarizado.....	30
2.2.3.3.1. Descripción del CN.....	30
2.2.3.3.2. Importancia del CN.....	31
2.2.3.3.3. Antecedentes del CN	32
2.2.3.3.4. Ventajas y desventajas del CN.....	35
2.2.3.4. Diferencias y semejanzas entre una máquina herramienta convencional y una con CN.....	39
2.2.3.5. Programación de las máquinas fresadoras de CNC.....	42
2.2.3.5.1. Sistemas de ejes de coordenadas.....	42
2.2.3.5.2. Ángulos de rotación y coordenadas polares	47
2.2.3.5.3. Puntos significativos en programación CNC	49
2.2.3.5.4. El origen del programa	50

2.2.3.5.5. Puntos de referencia	52
2.2.3.5.6. El origen de la pieza.....	54
2.2.3.5.7. Los decalajes de la herramienta	55
2.2.3.5.8. Desplazamientos	57
2.2.3.5.8.1. Desplazamientos lineales	58
2.2.3.5.8.2. Desplazamientos circulares.....	60
2.2.3.5.9. Compensación de la herramienta	62
2.2.3.5.10. Dimensiones y acotaciones para CN	65
2.2.3.5.11. Coordenadas absolutas e incrementales.....	66
2.2.3.5.12. Elección del origen pieza	67
2.2.3.5.13. Estudio de contornos	69
2.2.3.6. Funciones preparatorias (Códigos G).....	72
2.2.3.6.1. Movimiento rápido de posicionamiento (G00).....	74
2.2.3.6.2. Corte correcto por interpolación lineal (G01).....	75
2.2.3.6.3. Corte circular por interpolación circular (G02, G03).....	76
2.2.3.6.4. Temporizador (G04).....	77
2.2.3.6.5. Retorno automático al origen (G28).....	78
2.2.3.6.6. Compensación del diámetro de la herramienta (G49, G41 y G42).....	80
2.2.3.7. <i>Funciones misceláneas (función m o códigos m)</i>	84
2.2.3.8. Ciclos fijos	84
2.2.3.8.1. Operaciones Fundamentales en un ciclo fijo.....	85
2.3. MARCO CONCEPTUAL	86
2.3.1. Maquinas herramientas.	86
2.3.2. Control numérico computarizado.	86
2.3.3. Fresadora.	86
2.3.4. El mecanizado.	87
2.3.5. Movimiento transversal.	87
2.3.6. Movimiento longitudinal.	87
2.3.7. Movimiento vertical.	87
2.3.8. La automatización industrial	88
2.3.9. El motor pasó a paso	88
2.3.10. El movimiento de corte	89
2.3.11. El movimiento de avance.....	89
2.3.12. El movimiento de profundización o de profundidad de pasada.....	89
2.3.13. Giro respecto a un eje longitudinal.	89
2.3.14. Giro respecto a un eje vertical.....	89
2.3.15. Dispositivos de adición de ejes.	90
2.3.16. Dispositivos para sujeción de piezas.	90
2.3.17. Dispositivos para sujeción de herramientas.....	90
2.3.18. Dispositivos para operaciones especiales.	90
2.3.19. Dispositivos de control.....	90
2.3.20. Eje porta fresas.	91
2.3.21. Porta-pinzas.....	91
2.3.22. Pinzas.	91
2.3.23. Mesa circular Giratoria.	91
2.3.24. Programación de máquinas de CNC.....	92
2.3.25. Código G.....	92
2.3.26. Código M.	92
2.3.27. Velocidad de corte.....	92
2.3.28. Velocidad de rotación de la herramienta	93
2.3.29. Velocidad de avance.....	93
2.3.30. Profundidad de corte o de pasada.....	94
2.3.31. Espesor y sección de viruta.....	94
2.3.32. Volumen de viruta arrancado	94
2.3.33. Tiempo de mecanizado	95
2.3.34. Fuerza específica de corte.....	95
2.3.35. Potencia de corte	95

CAPITULO III	97
DESARROLLO DE LA METODOLOGIA	97
3.1 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL PROYECTO.....	97
3.1.2. PARÁMETROS PARA LA IMPLEMENTACION	99
3.2. IMPLEMENTACIÓN E INTEGRACIÓN DE LA SOLUCIÓN	105
3.3. TOMA DE DATA Y RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN	113
3.3.1. Mecanizado con Fresadora Convencional.....	114
3.3.2. Mecanizado con Fresadora Convertida.....	116
3.3.3. Mecanizado con Fresadora CNC.....	117
3.4. EVALUACIÓN DE COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN.....	119
3.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA SOLUCIÓN.....	120
CONCLUSIONES	122
RECOMENDACIONES.....	124
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	125
ANEXOS.....	127

I N T R O D U C C I O N

A nivel industrial en los procesos de manufactura para el mecanizado de moldes, las máquinas de control numérico computarizado (CNC), han tenido un gran auge desde los sesentas y setentas con la invención del integrado y la implementación de este en los procesos de mecanizado, actualmente las tendencias de la automatización en la industria, exigen el empleo de equipo especial para controlar y llevar a cabo los procesos de fabricación, donde prevalece que los automatismos sean de fácil operación y mayor exactitud.

Las máquinas CNC tienen la capacidad de dirigir posicionamientos de un órgano mecánico móvil, en forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas definidas por medio de un programa, factor que es de gran ayuda para el mecanizado de figuras, debido a su gran versatilidad para el desarrollo de los diferentes moldes que se requieran mecanizar, ya que se pueden hacer movimientos complejos como círculos, líneas diagonales y figuras tridimensionales con más precisión y mejores tiempos de fabricación que no se pueden lograr en un proceso que se hace manualmente.

El proyecto se encuentra enfocado básicamente hacia el departamento de producción de las pequeñas y medianas empresas dedicadas a la joyería y la elaboración de moldes o accesorios de lujo. Al interior de este departamento se intentarán solucionar los problemas tecnológicos bajo los cuales la mayoría de estas empresas se ven afectadas.

Las Mypes de subsistencia son aquellas unidades económicas sin capacidad de generar utilidades, en detrimento de su capital se dedican a actividades que no requieren de una transformación sustancial de materiales o realizan dicha transformación con tecnología rudimentaria. Estas empresas proveen un flujo de caja vital, pero no inciden de modo significativo en la creación de empleo adicional remunerado. En el Perú, 80% de las Mypes se ubican en el estrato de subsistencia (Quezada, 2008)[1].

Para poder mejorar esta situación, se pretendió mejorar los procesos de

adquisición del molde para la elaboración de estos accesorios y repuestos de maquinaria. Actualmente estas empresas subcontratan a otras empresas para la fabricación de este, lo cual afecta directamente la rígida línea de la cadena de valor del producto, generando mayores costos y demoras en la fabricación final.

Si el departamento de producción realiza una inversión a largo plazo, integrando verticalmente a su cadena productiva un sistema de fabricación de moldes a través de la automatización de una máquina fresadora, mejoraría definitivamente su cadena productiva.

Al ser este proyecto un avance tecnológico para el sector empresarial en la industria peruana, este contribuirá a la estandarización, especialización y progreso de las compañías que se beneficien de este, que en vez de despedir la mano de obra por automatizaciones costosas (generando así mayores índices de desempleo), mantengan al interior el capital humano que está formado y exploten todo su potencial, que se expandan e inviertan en nuevos mercados, que inventen nuevos productos con características diferenciadoras, que tengan competencia internacional y que contribuyan al desarrollo en repunta que necesita el país.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.

Los procesos de manufactura a nivel industrial requieren diferentes procesos de acabado según el material y según el proceso de mecanizado, un problema que tiene una empresa en particular que fabrica repuestos de maquinaria para todo tipo de industria; es el alto costo final de fabricación de modelos en el plano y tres dimensiones (ancho, largo, profundidad), ya que se requiere de un escultor que brinda asesoría externa en la fabricación de estos modelos, por el hecho de no estar vinculado directamente con la empresa, y quien se encarga de diseñar el arte para poder fabricar los modelos. El escultor se encarga de diseñar manualmente la figura en tercera dimensión, proceso que se puede hacer en madera, cera, o resina dependiendo del material en el que se requiere estampar o fabricar las piezas. Una vez terminado el arte se procede a sacar el reverso de la escultura, para luego entregarla al pantografista quien es el que se encarga de aumentar o disminuir el molde para así obtener el troquel con el que se desea trabajar, otra técnica que se utiliza una vez teniendo el arte para obtener el molde es por grafito y electro erosionado sobre la pieza final o troquel.

Por otra parte, según el gerente de la empresa MEGASAC. Dice “comercialmente el costo de una máquina CNC para hacer este tipo de trabajo que hace el escultor, de dar forma al molde oscila entre promedio los 40 mil dólares es una inversión de un alto costo para las Mypes”.

Por otra parte, el precio de los insumos dentro de la industria el cual se enfoca la investigación van a tener que continuar pagando por los moldes más un incremento proporcional al IPC efectivo en el año (4.48% 2006;

5.69% 2007; y acumulado en el año hasta septiembre, 6.53% 2008)[2]. Pero si se logra integrar en la cadena productiva la fabricación de moldes, se reducirá estos precios ya que estaría sujeto no al precio del bien elaborado, sino a la fluctuación del precio de los insumos requeridos, lo cual resulta beneficioso para establecer estrategias de compra oportuna de materia prima y así reducir significativamente los costos.

1.2 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

La elaboración de este proyecto responde a una necesidad en particular de una empresa (MEGASAC) ubicada en el parque industrial de Villa el Salvador, pues actualmente los mercados altamente competitivos hacen que las empresas se vean obligadas a hacer cambios respecto al enfoque de su trabajo ya que lo que requieren es optimizar sus procesos de producción, minimizando costos, aumentando la productividad agilizando procesos, mejorar la precisión y calidad de estos procesos, en ese orden de ideas la aplicación del control numérico suple una necesidad real, en la que la fabricación de estos modelos que ya se ha mencionado anteriormente debido a su complejidad y su elevado costo de fabricación, no garantizan un nivel continuo y productivo del servicio y los productos que ofrecen, sumado a esto la empresa argumenta que las fechas de entrega de los productos que elaboran son cada vez menores y les exigen mayor precisión, un alto control de calidad y los diseños de los modelos son cada vez más complicados.

Este tipo de máquinas únicamente se consiguen en el mercado a un precio realmente poco accesible para las empresas de industrias poco desarrolladas, las máquinas más económicas que se consiguen en el mercado peruano de este tipo son importadas de China y de Japón a un precio aproximado de “\$28.000.000”[3] pero aunque no son tan costosas en un comienzo no poseen suficientes garantías ni soporte para su implementación generando el pago por mantenimiento e importación de repuestos.

Por otra parte, el ambiente laboral en el departamento de producción se encuentra presionado por la gerencia de la empresa ya que no se están satisfaciendo los tiempos de entrega y la calidad necesaria a nivel nacional y mucho menos si se quiere incursionar en competencia internacional. Por esta razón se justifica la implementación de este sistema para poder generar fortalezas en el departamento de producción que marquen una evolución en tecnología de la empresa.

1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Espacial: La investigación se realizara en la empresa Megasac, en un taller de metalmecánica del parque industrial de Villa el Salvador con apoyo de la Universidad Nacional Tecnológica del Sur de Lima.

Temporal: Comprende el período SETIEMBRE 2013 A ENERO 2014.

1.4 FORMULACION DEL PROBLEMA

1.4.1. Problema General

¿Cómo Automatizar e implementar un control CNC a una fresadora manual de un taller de metalmecánica en el Perú, para mejorar su proceso de mecanizado?

1.4.2. Problemas Específicos

- ¿Se requiere la información de la Fresadora para analizar la cadena de mecanismos, software de Control Numérico computarizado y maquinas CNC?

- ¿Cómo establecer o calcular la potencia de motores para desplazamiento en cada eje?
- ¿Cómo Lograr la Integración de los componentes electromecánicos con el tablero de control y el software de control numérico?.
- ¿Cómo realizar la evaluación técnica y económica de la implementación de la automatización?

1.5. OBJETIVOS.

1.5.1. Objetivos General

Automatizar una fresadora convencional mediante control numérico computarizado (CNC) en un taller de metalmecánica mejore su proceso de mecanizado y dispongan con un grado de modernidad.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Documentarse sobre Teoría de Corte, mecanismos de Transmisión de movimiento de máquinas fresadoras, software libre de control numérico Computarizado y maquinas CNC.
- Realizar cálculos para determinar el torque requerido en cada uno de los ejes de la fresadora (X, Y e Z)
- Integrar de los componentes electromecánicos con el tablero de control electrónico y software de control numérico.
- Realizar las evaluaciones técnicas y de costos de la implementación automatización de la fresadora.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES

Las primeras herramientas desarrolladas por el hombre, datan del principio del periodo paleolítico hace 1.75 millones de años y fueron hechas a base de huesos y piedras en bruto. A mediados de esa misma época (hace 1.5 millones de años) se mejoraron estas herramientas con el uso de piedras filosas, esta mejora repercutió de manera directa en la calidad de vida. Mucho tiempo más tarde en la era del bronce (6500 AC.) y acero (1500 AC.) se lograron herramientas metálicas que incrementaron la productividad en la agricultura, y se mejoraron armas tales como espadas, escudos etc. [4].

Resultaría prácticamente imposible pensar en este mundo tal como lo conocemos sin el perfeccionamiento de técnicas para manufacturar las materias primas en los diversos objetos que usamos a diario como: ropa, zapatos, automóviles, aviones, mesas, sillas, puertas, etcétera. Entre dichas técnicas las más conocidas son: torneado, taladrado, cepillado, aserrado, rectificado, fresado, ensamblaje y trazado. Las exigencias de producción del mundo globalizado establecieron la necesidad de automatizar los procesos, lo cual se logra con lo que se conoce como máquinas de CNC (Control Numérico Computarizado) [5], muchas de las cuales se complementa con la aplicación de una herramienta altamente eficiente como es el Láser.

El CNC tuvo su origen a principios de los años cincuenta en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), en donde se automatizó por primera vez una gran fresadora [6]. En esta época las computadoras

estaban en sus inicios y eran tan grandes que el espacio ocupado por la computadora era mayor que el de la máquina. Hoy en día las computadoras son cada vez más pequeñas y económicas, con lo que el uso del CNC se ha extendido a todo tipo de maquinaria: Fresadoras, tornos, rectificadoras, electroerosionadoras, máquinas de corte como plasma y laser, etc. [7].

Los programas de control varían dependiendo el fabricante y las aplicaciones para las cuales se anuncian las máquinas, sin embargo se observó que para introducir las figuras a las máquinas pequeñas se hace uso de paquetes comerciales como Corel Draw, AutoCAD, y otros software de diseño, por otro lado los sistemas de más capacidad tanto en potencia de láser como en área de trabajo utilizan un control tipo CNC para la programación de trayectorias de corte. La forma más comercial de programación de trayectorias de corte es mediante códigos G y M.

En primer lugar se tiene que, en 1993 fue presentado en la Facultad de Ingeniería Mecánica en Universidad Nacional de Ingeniería de la Especialidad de Ingeniería Mecánica Eléctrica en Lima-Perú, Oficina de grados y títulos el trabajo especial de grado "**Proyecto de automatización con control numérico computarizado de una fresadora vertical**" por Pacheco Beleván, César Alberto, como requisito para optar el título de *Ingeniero Mecánico Electricista*. Resumen: \"En el presente proyecto se propone como alternativa la automatización de una máquina herramienta convencional con C.N.C.\"

En segundo lugar se tiene que, en 1993 fue presentado en la Facultad de Ingeniería Mecánica en Universidad Nacional de Ingeniería de la Especialidad de Ingeniería Mecánica Eléctrica en Lima-Perú, Oficina de grados y títulos el trabajo especial de grado "**Proyecto de automatización con control numérico computarizado de un torno horizontal convencional**" por Delgado Guisbert, Carlos Marvin, como

requisito para optar el título de *Ingeniero Mecánico Electricista*.
Resumen: \"La siguiente tesis ha sido elaborada con el espíritu de investigar la fusión de la mecánica, electrónica e informática, para dar soluciones integrales a los problemas de automatización industrial.\"

2.2.- BASES TEÓRICAS

2.2.1. Máquinas herramientas

La fresadora, junto con el torno, son las maquinas más empleadas en los talleres mecánicos debido a su gran versatilidad y posibilidades que ambas ofrecen: el torno en piezas de revolución y la fresa para todo de piezas prismáticas [1].

2.2.2. La fresadora

La fresadora, dotada de una herramienta característica denominada fresa que, animada de un movimiento de rotación, mecaniza superficies en piezas que se desplazan con movimiento rectilíneo bajo de la herramienta. Cuando el eje de la fresa es perpendicular a la superficie de la pieza que se mecaniza, se denomina fresado frontal. Los movimientos de trabajo de la fresadora son:

- ✓ Movimiento de rotación: Por rotación de la fresa.
- ✓ Movimiento de avance: Por desplazamiento rectilíneo de la pieza.
- ✓ Movimiento de profundidad de pasada: Por desplazamiento vertical de la pieza.

El campo de aplicación de la fresadora es el mecanizado casi ilimitado de piezas y es imprescindible en cualquier taller. Estas máquinas tienen, para la misma operación, mucho mayor rendimiento que las demás

maquinas herramientas, pues como cada diente o arista de la fresa no está en fase de trabajo y por tanto en contacto con la pieza, más que una fracción de tiempo que dura una revolución de la fresa, esta experimenta menos fatiga, tiene menor desgaste y trabaja a temperatura inferior a la de las cuchillas de los demás tornos sin que pueda considerarse su trabajo intermitente, ya que siempre hay una arista de la fresa en fase de trabajo [1].

2.2.2.1. Partes de la fresadora

Las principales partes de una fresadora son las que se exponen a continuación.

- ✓ Montante que contiene al motor y los mecanismos de movimiento de trabajo.
- ✓ Eje portafresas.
- ✓ Árbol de portafresas, que recibe el movimiento del eje portafresas.
- ✓ Soporte rígido del árbol portafresas.
- ✓ Consola o carro inferior que es deslizante a lo largo la guía fija en el montante.
- ✓ Esparrago roscado que sirve para regular la altura de la consola.
- ✓ Árbol del tambor graduado para accionar el movimiento vertical de la consola mediante el esparrago.
- ✓ Carro transversal.
- ✓ Guía de carro transversal.
- ✓ Volante con tambor graduado para medir el desplazamiento del carro transversal.
- ✓ Mesa.
- ✓ Caja de cambio de velocidades para el avance automático de la mesa.
- ✓ Transmisión cardan para el avance automático de la mesa.
- ✓ Volante para el mando manual del avance longitudinal de la mesa.

✓ Fresa.

La base es la placa de fundición en la que se apoya todo el conjunto de la máquina y que normalmente se fija al suelo.

El cuerpo o montante de la fresadora debe tener la forma de dimensiones necesarias para alcanzar la máxima rigidez. Su cuerpo o montante es el que alberga normalmente al motor de accionamiento y la mayoría de los mecanismos y sistemas de engrane y refrigeración. La consola se desliza por las guías verticales que hay en el cuerpo y que sirven de soporte a la mesa de la máquina.

La mesa es la superficie ranurada donde se fijan las piezas. Se apoya sobre dos carros: uno de desplazamiento longitudinal y otro de desplazamiento transversal (este va sobre la consola). Las guías sobre las que se desliza el conjunto que tienen forma de cola de milano. Las fresadoras universales, entre el carro de portamesa y la mesa propiamente dicha, tiene un dispositivo giratorio que permita diversas posiciones.

El puente conocido popularmente en algunos lugares como carnero, es simplemente un elemento de soporte que puede correr sobre el cuerpo sobre el cuerpo por unas guías cilíndricas o en forma de cola de milano que se pueden bloquear fácil y fuertemente. En el puente van los soportes del eje porta fresas provistos de cojinetes de bronce ajustables y con un sistema de engrase conveniente.

El eje de la herramienta o de trabajo. Va montado horizontalmente en la parte superior del cuerpo, sirve de apoyo y accionamiento a las fresas y recibe el movimiento de rotación del mecanismo de accionamiento que va alojado en el cuerpo de la fresadora.

2.2.2.2. Cadena cinemática de una fresadora

Para realizar los distintos movimientos de una fresadora es necesaria una cadena cinemática. La cadena cinemática de una fresadora universal se puede dividir en varios grupos de mecanismos.

- ✓ Transmisión del movimiento al eje principal.
- ✓ Transmisión del movimiento a la caja de cambio para avances.
- ✓ Caja de cambio para avances e inversión del movimiento de los mismos.
- ✓ Transmisión del movimiento a los mecanismos de la consola.

2.2.2.2.1. Transmisión del movimiento al eje principal

El movimiento de la transmisión desde el motor necesita un sistema de reducción y variación de velocidad que puede basarse en un mecanismo de conos, poleas o trenes de engranajes. En el sistema de monopolea, el ataque se hace por medio de una de una polea de correas trapeziales que van desde el motor a una caja de cambios de velocidades por engranajes que hay en la parte superior del cuerpo de la fresadora. El sistema empleado es casi exclusivamente del tipo de engranajes desplazables. Se emplea en casi todas las fresadoras de cualquier potencia.

La polea que recibe el movimiento del motor situado en la parte inferior del cuerpo, transmite el movimiento al bloque de tres engranajes, que se deslizan por el árbol acanalado. Sobre el árbol intermedio está fijamente sujeto un bloque de engranajes que se pueden acoplar con cualesquiera del bloque y dos engranajes, que se pueden deslizar sobre un trozo de árbol acanalado, acoplable con los bloques, fijamente clavado en el eje. El eje está montado sobre cojinetes de bolas y está hueco en su interior. Por su agujero se desliza y gira con este el tirante, roscado en sus dos

extremos; este tirante sirve para bloquear, mediante el dado, el árbol portafresas contra el cono hueco del eje. En el sistema de ataque directo se suprime toda clase de poleas. Es semejante al sistema monopolea, salvo que el eje del motor lleva ya el primer engranaje de la caja, este suele estar dotado de un embrague.

El último eje conducido del mecanismo estudiado, en cualquiera de sus formas, es siempre el eje principal de la fresadora.

2.2.2.2. Transmisión del movimiento a la caja de cambio de avances

Las maneras de realizar la toma de movimiento de la caja de avances son los siguientes.

Tomando el movimiento del eje motor por medio de engranajes o cadenas antes de la caja de cambio de velocidades. En este caso los avances serán independientes de la velocidad de rotación del eje portafresas y se expresaran en milímetros por minuto.

Tomando el movimiento por medio de los engranajes, de cadenas o de correa del mismo eje principal de la fresadora, después de la caja de velocidades. En este caso los avances serán proporcionales a la velocidad de rotación del eje portafresas y se expresaran en milímetros por revolución de la fresa. Tomando el movimiento de otro motor independiente. En este caso los avances también se expresan en milímetros por minuto. Cuando se emplea este sistema es corriente que la caja de cambio de avances no se encuentre en el cuerpo de la fresadora, sino en la consola.

2.2.2.3. Caja de cambios para avances y mecanismos de inversión

La caja de cambios para avances suele ser del tipo de engranajes desplazables, al igual que la caja de velocidades. En esta misma caja suele estar incluido el mecanismo de inversión de avances. Otras veces el mecanismo de inversión está incluido en los mecanismos de carro y se consigue por medio de una combinación de engranajes cónicos.

Por último, se ha de tener en cuenta que cuando los avances tienen un motor independiente existen corrientemente avances rápidos para el acercamiento o alejamiento, para evitar pérdidas de tiempo, mandados por una palanca que acciona el embrague correspondiente.

2.2.2.4. Trasmisión del movimiento a los mecanismos de consola

Algunas fresadoras no tienen motor independiente, por tanto, hay que transmitir el movimiento desde la caja de cambios para avances hasta los mecanismos de la consola (lo más corriente es emplear dos juntas de cardan y un eje telescópico).

La transmisión de los movimientos a los mecanismos de la consola están mandados por husillos de rosca trapecial, pero para disminuir el espacio ocupado por la maquina el tornillo que sirve para subir o bajar la consola suele hacerse telescópico y de dos partes, una de las cuales rosca sobre la otra cuando esta llega al final del recorrido. Los mandos manuales de los diversos husillos se manejan girando directamente el husillo correspondiente (movimiento de la mesa y del carro transversal) o por medio de un juego de engranajes cónicos, para la vertical de la consola. Todos ellos se accionan por medio de una volante o de las manivelas correspondientes y llevan un tambor graduado (nonius). Deben estar colocados de tal manera que el operario los tenga al alcance de la mano en posición de trabajo. Como esta posición suele

variar, algunas fresadoras llevan doble mando para el movimiento de la mesa. Normalmente los volantes o manivelas correspondientes y los mandos manuales suelen poder quitarse cuando se dan avances automáticos y para evitar falsas maniobras que puedan causar accidentes. Cuando la fresadora está dotada de avances rápidos de acercamiento, es preciso que haya una desconexión automática de los volantes de los mandos manuales para evitar desgracias.

Durante el trabajo los carros que no se necesitan mover se bloquean para aumentar la rigidez. Este bloqueo suele conseguirse por medio de regletas que se comprimen contra las guías. En todas las fresadoras universales puede darse automáticamente el movimiento de la mesa, y en muchas de ellas los tres movimientos.

Como ya se ha mencionado, los mecanismos de consola, el carro y la mesa pueden hacerse independientes de la cadena cinemática general desembragada los mandos respectivos. En cambio, pueden unirse a la cadena cinemática general los mecanismos de transmisión del cabezal vertical de fresar y del universal, que convierten la fresadora universal en vertical o mixta. Consiste simplemente en una transmisión por engranajes cónicos desde el eje principal de la fresadora a unos ejes secundarios, que deben ir sobre el sistema de cojinetes del mismo tipo que los del eje principal, el último de cuyos ejes pasa a ser el eje portafresas.

2.2.2.5. Lubricación de la cadena cinemática

En cualquier fresadora es necesario seguir atentamente las instrucciones para lubricación contenidas en las instrucciones facilitadas por el fabricante. Se deberá comprobar siempre el nivel del aceite a través de los indicadores y asegurarse de que los engrasadores estén provistos de grasa.

Las cadenas cinemáticas que están en movimiento necesitan una adecuada y constante lubricación. Este tipo de lubricación pueden ser las siguientes formas.

2.2.2.5.1. Lubricación forzada.

Esta lubricación es automática, pues se obtiene por medio de una bomba que es accionada por el propio motor de la máquina. Sirve para lubricar el cambio de velocidad del avance y los engranajes de mando del eje. La circulación del lubricante sigue un circuito definido y es presionado por medio de una bomba de pistones o engranajes que lo aspira de un depósito.

2.2.2.5.2. Lubricación semiautomática.

Sirve para lubricar el grupo de la consola y los diferentes carros. En este sistema el lubricante va directo a los órganos indicados por un complejo sistema de tubos una bomba envía aceite a baja presión.

2.2.2.5.3. Lubricación por barboteo.

Es utilizada para lubricar el cambio de velocidad del eje. Los engranajes inferiores del cambio están parcialmente inmersos en un baño de aceite. En el momento del giro, el aceite es proyectado a todas partes de los órganos por el barboteo o empuje del mismo por medio de los engranajes inmersos.

2.2.2.6. Movimientos de los carros

La situación de la pieza respecto a la herramienta y el avance de la misma se obtienen por la combinación de tres carros que constituyen el soporte de las piezas en los tres movimientos posibles, el carro transversal y la mesa portapiezas. La consola se desliza por medio de la manivela a lo largo de las guías verticales, que están fijadas en el montante de la fresadora.

El carro transversal corre horizontalmente, regulado por medio del husillo, a lo largo de la guía que posee la consola. La mesa portapiezas corre regulada por medio del mando, horizontalmente sobre el carro transversal y perpendicularmente al árbol portafresas.

El movimiento de los carros se obtiene por medio de un sistema de husillo roscado y tuerca, y puede ser manual o automático por medio de un motor propio a través del motor del motor principal.

2.2.2.7. Cinemática de máquinas-herramientas

La forma de muchos componentes en ingeniería provienen de sólidos Geométricos comunes. Un método útil de estudio del maquinado de estas formas consiste en analizar los movimientos capaces de producirlos.

Existen otros medios de maquinar cada forma geométrica; las máquinas herramientas tradicionales han evolucionado para llegar a la técnica más conveniente de maquinar la producción general de trabajo, sin embargo, cuando se necesita maquinar algunas formas especiales de componentes en grandes cantidades, primero es conveniente considerar posibles movimientos generadores y luego determinar métodos de manufactura y equipo; en algunos casos deben incluirse máquinas-

herramientas especialmente diseñadas en el sistema generador y de ser posible que tengan el costo más bajo para la calidad que se busca.

2.2.2.7.1. Forma geométrica de componentes de ingeniería

Algunas de las figuras geométricas comunes que se utilizan en componentes de ingeniería como base para analizar elementos de movimientos de máquinas- herramientas y estas pueden ser.

- a. Plano.-** Este elemento es básico de formas prismáticas que se usa como nivel de referencia a partir del cual se dan las dimensiones de un componente. Es una característica que a veces necesita un alto grado de precisión y los métodos empleados en su producción deben ser capaces cualquier grado de precisión que se necesite para propósitos funcionales.
- b. Cilindro.-** Aparece en muchos componentes y pueden tener una superficie externa (ejes) o interna (orificios).
- c. Cono.-** En la relación con la producción de componentes, un cono es mucho más conocido como pieza de forma cónica, chaflán o bisel (como engranajes cónicos).
- d. Esfera.-** El cojinete de bolas es el más común de la forma esférica, pero las superficies esféricas también se usan en caso de los asientos esféricos.
- e. Hélice.-** Aparece en forma de rosca de tornillo, ranuras de aceite, estrías de brocas y otras.

Para obtener estas figuras geométrica en una máquina-herramienta, el material sobrante debe eliminarse en forma de rababas o viruta hasta

que la pieza original se reduzca a la forma y tamaño deseado. Esto exige que la máquina-herramienta sea capaz de producir movimientos controlados de una pieza de trabajo, de una herramienta o de ambos de tal manera que resulten formas geométricas. Además de los cortes y potencia necesaria para eliminar material de un componente, la máquina debe tener la capacidad para realizar con precisión sus funciones básicas de movimiento.

2.2.2.7.2. Cargas Cinemáticas de máquinas-herramientas

Es la rama de la ciencia que estudia las posiciones y los movimientos. Debido a que los componentes se maquinan por el movimiento de la herramienta y se producen a una medida por la precisa posición relativa de la herramienta y la pieza de trabajo. Las alineaciones están estrechamente relacionadas con la cinemática de una máquina, tanto en lo relativo a un movimiento en línea recta o a la precisión de una rotación alrededor de un eje fijo. La máquina debe ser capaz mantener su alineación en condiciones de:

- a. **Carga estática.**- Debe ser suficientemente fuerte para soportar fuerzas aplicadas sin flexiones indebidas.
- b. **Carga dinámica.**- Debe aceptar esfuerzos establecidos por partes en movimiento sin efectos de vibración o deformación que afecten su función.

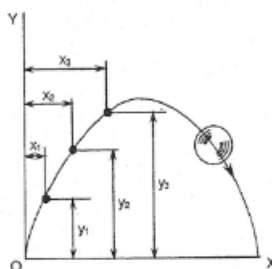


Figura 1. Movimiento de un cuerpo en un plano (sin rotación)

2.2.2.8. Características de cinemáticas de máquinas-herramientas

- ✓ Los dos cuerpos pueden separarse y volver a ponerse precisamente en la misma relación con la frecuencia necesaria.
- ✓ No se necesita un alto grado de precisión en la construcción, por ejemplo: el diámetro del Círculo de paso de los pies puede variar considerablemente y aun así ser ajustado por las piezas en "v".
- ✓ La expansión en cualquiera de los cuerpos no afecta la precisión de la ubicación.
- ✓ Las seis ubicaciones son todos "puntos" de contacto, no hay ubicaciones repetidas, es decir, no se puede prescindir de ninguna de ellas.

El desgaste de las ubicaciones no ocasiona "juego" o desapriete entre las partes en contacto.

En la figura 2. b) se ilustra un diseño semejante, pero cambiado, para ubicar dos cuerpos. En este caso se necesita extrema precisión y, en consecuencia, el desgaste o expansión ocasionarán pérdida de contacto de los seis puntos y ubicación insegura.

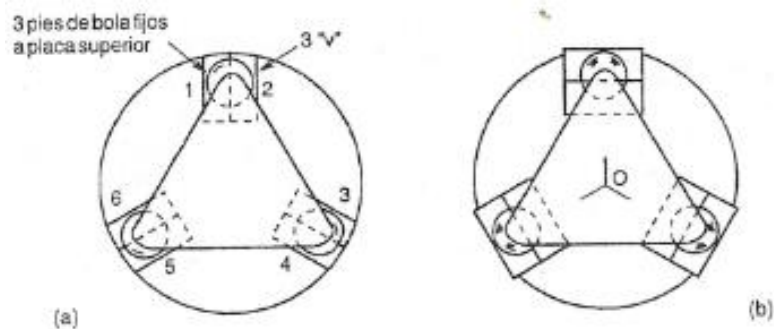


Figura 2. a) Diseño cinemático simple para ubicar dos cuerpos los seis puntos de restricción están numerados del 1 al 6; b) diseño modificado. Las restricciones son tangenciales a un círculo y no

impiden la rotación alrededor de un eje vertical que pasa por O. Los tres pies de bola también deben estar ubicados de manera precisa en relación con las "v", para cerciorarse que hay contacto '1:1' Jos seis puntos.

2.2.3. Control Numérico Computarizado

El control numérico se puede definir como un dispositivo de automatización de una máquina que, mediante una serie de instrucciones codificadas (programa) controla su funcionamiento.

Cada programa establece un determinado proceso a realizar por la máquina, con lo que una misma máquina puede efectuar automáticamente procesos distintos sin más que sustituir su programa de trabajo. Esto permite una elevada flexibilidad de funcionamiento con respecto a las máquinas automáticas convencionales, en las que los automatismos se conseguían mediante sistemas mecánicos o eléctricos difíciles y a veces casi imposible de modificar.

La programación de los controles numéricos ha sufrido una gran evolución en los últimos años. Si bien se habla todavía de programación manual y programación automática o asistida por computadora, la realidad es que hoy en día, al contar los controles con una microcomputadora incorporada, la programación manual dispone de muchas de las facilidades reservadas hasta hace poco a la programación automática. Sería quizás más adecuado efectuar otra clasificación:

- ✓ La programación a pie de máquina, apoyada en los lenguajes y facilidades de que disponen los CNC.

- ✓ b) La programación en oficina técnica, apoyada en equipos y software propios dentro de las técnicas de CAD-CAM.

2.2.3.1. Sistemas de control

Existen principalmente dos sistemas de control numérico para las máquinas herramienta, que son: lazo abierto y lazo cerrado.

2.2.3.1.1. Sistemas de lazo abierto

Este es un sistema de control sin retroalimentación, es decir, sin comparación entre la posición real y la prescrita.

En este sistema se alimenta la cinta perforada a una lectora de cinta que descodifica la información y la almacena hasta el momento en que se va a poner en marcha la máquina; cuando esto sucede, la convierte en impulso o señales eléctricas, que a su vez se envían a *la unidad de control*, la cual energiza a las *unidades de servocontrol*. Estas unidades controlan los *servomotores* para que ejecuten determinadas funciones de acuerdo con la información perforada en la cinta. La distancia que cada *servomotor* mueve el sinfín de avance de la máquina depende del número de impulsos que reciba desde la unidad de control.

Los sistemas de lazo abierto tienen una exactitud de hasta 0.02 mm, y las dimensiones en los planos se indican con tres decimales.

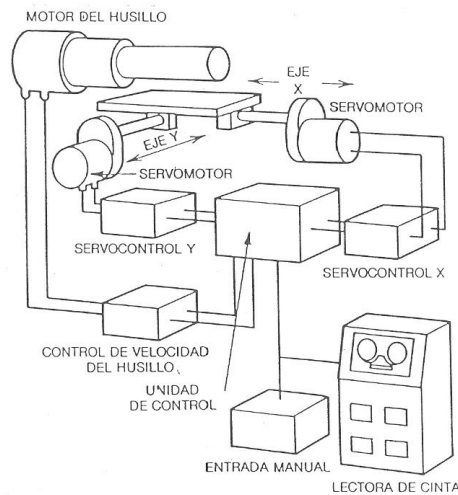


Figura. 3. Sistema de control numérico de lazo abierto.

También el desplazamiento de los dispositivos móviles, puede ser accionado por un *motor "paso a paso"*, que da una cantidad de pasos o desplazamientos elementales definida previamente por la unidad de control. En este sistema no hay forma de comprobar si el servomotor ha efectuado su función de modo concreto, y no se debe utilizar cuando se requiere una exactitud mayor de 0.02 mm. La figura 3 muestra un diagrama de un sistema de control numérico de lazo abierto.

- ✓ **Motor pasó a paso.** (También denominados motores de velocidad gradual) Es un motor eléctrico utilizado como accionamiento en sistemas de lazo abierto. El rotor de este motor gira un ángulo dado cada vez que recibe un impulso de corriente, o sea que un tren de impulsos determinado se traduce en número de desplazamientos elementales.
- ✓ **Servomotor.** Es un motor eléctrico que puede girar desde fracciones pequeñas de radian hasta el giro continuo en respuesta a una señal proveniente de la unidad de control. Es un motor utilizando en los servomecanismos para producir movimientos lineales o rotativos.

- ✓ **Servomecanismos.** El servomecanismo proporciona la amplificación y la potencia controlables necesarias para mover rápidamente grandes masas en presencia de fuertes perturbaciones de la carga. La realimentación negativa hace posible que se establezca la comparación entre la señal de entrada de referencia y el valor medio del movimiento controlando la salida. Se produce así una señal-error de energía reducida.

El servoamplificador y el servomotor responden a la señal-error haciendo que el movimiento de salida se aproxime al valor deseado. A menudo, la señal de referencia a la entrada adopta la forma de corriente o tensión eléctrica. También puede adoptar la de cualquiera de otros muchos fenómenos físicos, tales como presión hidráulica o neumática, velocidades de circulación de fluidos, movimientos mecánicos, fuerzas mecánicas, transferencias de calor, variaciones de temperatura o intensidad de radiaciones nucleares; sin embargo, la salida de un servomecanismo es siempre el movimiento de un eje, palanca, articulación o elemento mecánico similar. Para lograr el mejor comportamiento posible del servomecanismo, el dispositivo de medida debe poseer un alto grado de precisión en el sentido estático, siendo en cambio, despreciable el retardo dinámico en relación a las características de respuesta dinámica del resto del sistema.

2.2.3.1.2. Sistema de lazo cerrado

Un sistema de control de lazo cerrado es un sistema que cuenta con una unidad de retroalimentación (transductor). En este sistema la magnitud de salida es medida de forma continua o por incrementos, y transmitida por medio de un lazo o bucle de retorno a un comparador para que dicha magnitud sea comparada con la magnitud de entrada. La magnitud de salida es la posición real del dispositivo móvil y la magnitud de entrada es la posición prescrita por el programa. El comparador establece una

comparación entre estas posiciones y suministra una señal de error hasta que coinciden.

Los transductores de los sistemas de lazo cerrado permiten una exactitud de 0.002 mm (0.0001 pulg.) y las dimensiones en los planos se indican con cuatro decimales. La figura 4, muestra un sistema de control numérico de lazo cerrado.

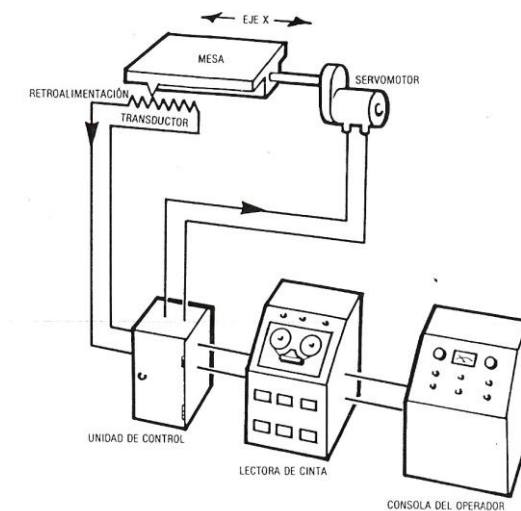


Figura 4. Sistema de control numérico de lazo cerrado.

2.2.3.2. Tipos de control de las máquinas-herramienta con cnc

Hay tres tipos disponibles de controles para ubicar y controlar la herramienta de corte y la pieza de trabajo durante el maquinado, y son los siguientes:

a) “Punto a punto”.

Este sistema controla el posicionamiento de la herramienta en los sucesivos puntos donde debe efectuarse una o varias operaciones de maquinado. La trayectoria de la mesa es siempre lineal para pasar de un punto al siguiente y puede llegar a un punto en particular siguiendo más

de una trayectoria, pues las funciones de posicionamiento y de maquinado son distintas. En la figura 5. Se ilustra un ejemplo.

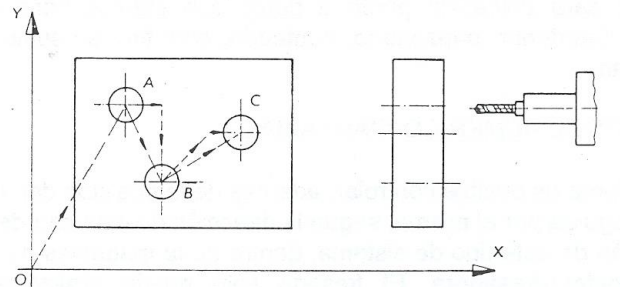


Figura 5. Control numérico “punto a punto”

En el ejemplo de la figura, la mesa para desplazarse a los puntos A, B y C puede desplazarse a lo largo de las siguientes trayectorias:

- ✓ Desplazamientos efectuados con direcciones paralelos a los ejes, o sea, primero sobre el eje X y luego sobre el eje Y, o viceversa.
- ✓ Desplazamiento dando una orden simultánea a los dos ejes, pero sin existir coordinación alguna en los sistemas de mando de cada uno de los motores. La trayectoria se aproxima a 45° .

Se desea programar desplazamientos angulares o segmentos de arco, estos deberán ser programados como una serie de cortes lineales; como se muestra en la figura 6.

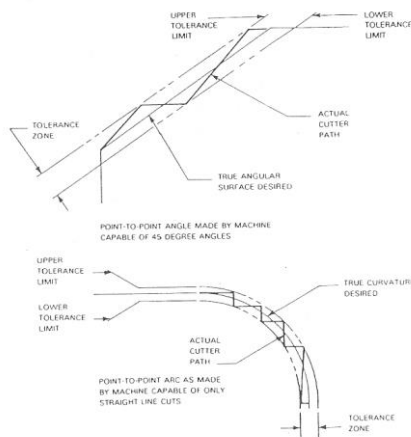


Figura 6. Ángulos y arcos con el sistema “punto a punto”

Las órdenes para ubicación punto a punto son ideales para taladrar, rectificar, machuelear, mandrinar, punzonado, punteado; este tipo suele usar en sistemas de lazo abierto.

b) Paraxial

Con este sistema es posible controlar, además de la posición del dispositivo móvil, la trayectoria seguida por el mismo, según la dirección de ejes coordenados “X” y “Y”. Una aplicación de este tipo de sistema, dentro de la máquina-herramienta, se halla en la taladradora-fresadora. El fresado sólo puede realizarse en trayectorias rectilíneas paralelas a alguno de los ejes coordenados. Ver figura 7.

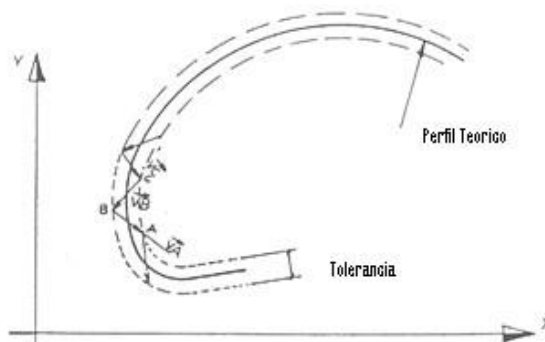


Figura 7. Control numérico “paraxial”

c) “Trayectoria continua”

En los sistemas de programación de trayectoria continua, los desplazamientos del dispositivo móvil son controlados en todo momento, de manera que las posiciones del mismo deben corresponder a la trayectoria preestablecida. Esta programación permite la fabricación de contornos perfiles irregulares y la obtención de curvas complejas cuyo mecanizado normal presentaría muchas dificultades. Las órdenes de desplazamiento son comunicadas al dispositivo móvil bajo forma de componentes de un vector que permite alcanzar un punto próximo.

La curva elemental descrita por este dispositivo será por lo tanto un segmento de recta. Para ejecutar contorneado cualquiera, éste se descompondrá en segmentos elementales llamados incrementos. Su número dependerá de la precisión con que se quiera efectuar el trabajo. Por ejemplo muchas piezas requieren segmentos de longitud no mayor de 0.0125 mm (0.0005 pulg.) o cuerdas correspondientes a arcos de 1° . Permite que la herramienta siga cualquier trayectoria regulando simultáneamente el movimiento de los distintos ejes. Se controla continuamente el recorrido de la herramienta para generar la pieza con la geometría deseada. Por ello se conoce también con el nombre de control numérico continuo. Es el más complejo de los tres sistemas y permite también el mecanizado paraxial y el punto a punto (ver figura 8).

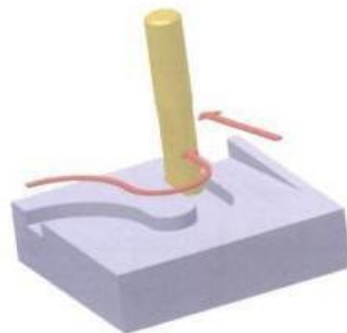


Figura 8. Control de Contorneo[8].

Para el caso de un desplazamiento continuo con un plano, se sincronizarán dos ejes, llamándose por lo tanto “máquina de dos ejes”. Para un maquinado en el espacio se deberá utilizar una máquina de tres ejes.

d) Interpolación.

En estos controles CNC debe existir una sincronización perfecta en el movimiento de todos los ejes para ejecutar la trayectoria deseada. Para ello los controladores incorporan procedimientos de interpolación. En los CNC convencionales los más utilizados son:

- ✓ Interpolación Lineal.
- ✓ Interpolación Circular.

En la interpolación lineal el controlador mueve la herramienta en dirección recta entre dos puntos mediante trenes de puntos uniformemente repartidos, de forma que la relación de la frecuencia de los mismos en cada eje es la pendiente de la recta (ver figura 9)

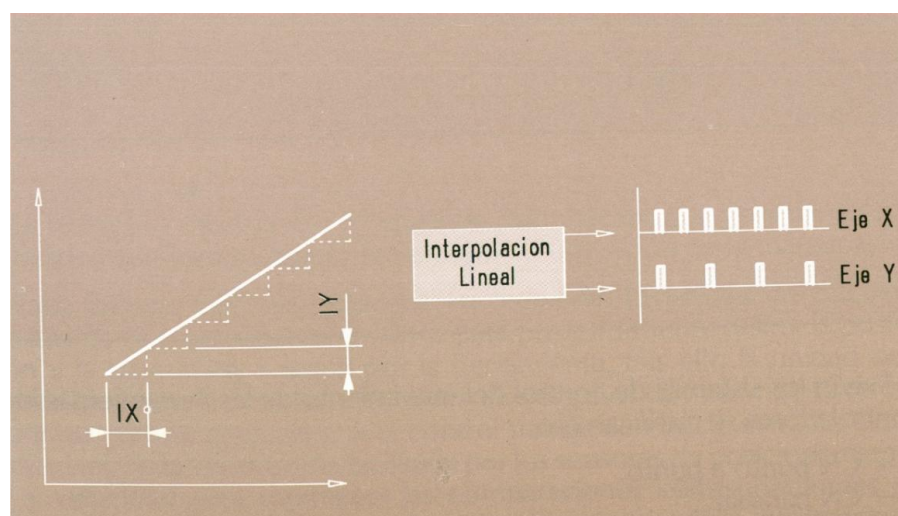
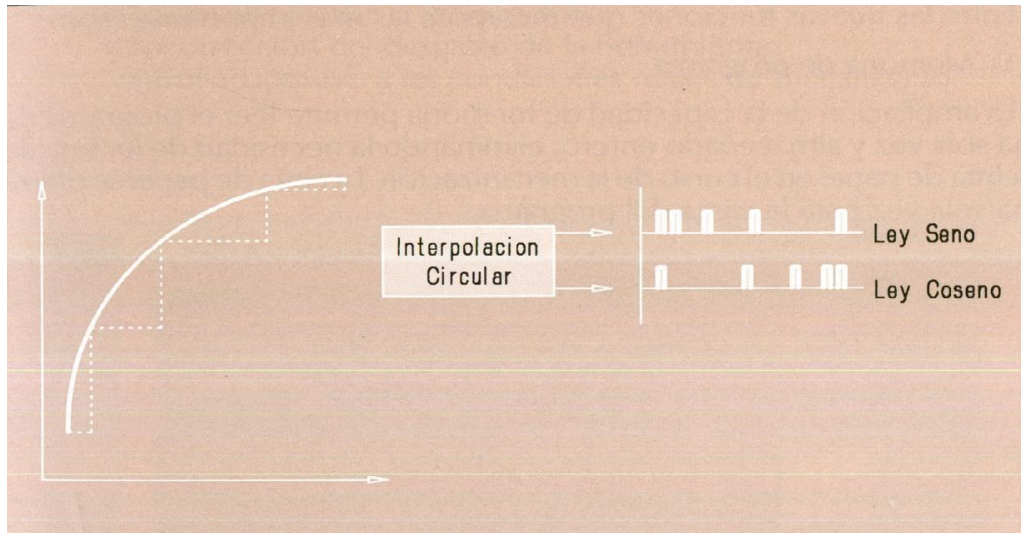


Figura 9. Interpolación Lineal [9].

En la interpolación circular, el control mueve la herramienta sobre un arco de círculo mediante impulsos cuya frecuencia sigue en cada eje la ley del seno y del coseno respectivamente. Para definir la interpolación circular debe situarse, en primer lugar, el plano que contiene el arco y dar puntos de inicio y final del mismo, así como el radio (ver figura 10).



· Figura 10. Interpolación Circular [9].

Otros controladores incorporan también la interpolación parabólica y cúbica. Existen programas CAD/CAM que hacen la interpolación lineal, circular, parabólica y cúbica internamente como en el caso de Artcam de tal manera que hacen un control paraxial con interpolación y entregan pequeñas rectas que van generando la figura deseada.

2.2.3.3. Control numérico computarizado.

2.2.3.3.1. Descripción del CN.

El control numérico, es el control de máquinas herramienta por medio de números. El CN, es un sistema en el cual se programan valores numéricos insertados directamente y almacenados en alguna forma de

entrada y automáticamente leído y codificado para provocar un movimiento correspondiente a la máquina que se está controlando.

El CN logra el posicionamiento preciso de la pieza de trabajo y el de la herramienta de corte, pero las mismas herramientas tales como: fresas, brocas, machuelos, buriles, y otras herramientas, todavía establecen las diversas operaciones de maquinado, y aún es necesario considerar los parámetros de corte como: velocidad de avance y profundidad de corte, así como los principios de implementación de herramientas. Dado este conocimiento, ¿Cuál es la ventaja real del CN? El primer punto, el tiempo muerto o el tiempo que se requiere para mover la pieza o herramienta en una nueva posición de corte está limitado únicamente por la capacidad de la máquina para responder, ya que la máquina recibe señales desde la unidad de control de la máquina (UCM) responde sin pérdida de tiempo, por lo tanto, el grado de utilización actual es mucho más alto que una máquina operada manualmente. El segundo punto es que la máquina con CN no puede iniciar nada sobre sí misma. La máquina acepta y responde a los comandos desde la unidad de control. Aún la unidad de control no puede pensar, juzgar o razonar.

Sin algún medio de entrada como por ejemplo cinta perforada, disco magnético, cassettes o teclado directo en el panel de control, la máquina y la unidad de control no harán nada. La máquina con CN ejecutará únicamente lo que se le programó y sólo cuando se presione la tecla de inicio de ciclo.

2.2.3.3.2. Importancia del CN.

“El CN es importante debido a que países como Japón y la gran mayoría de los países Europeos han logrado espectaculares avances en años recientes. Como resultado han logrado mayores niveles de productividad

que los Estados Unidos, incluso en ciertas áreas lo han rebasado en su nivel de producción”.

La importancia real del CN yace en el efecto que ha producido en los países donde se han utilizado. Las máquinas con CN son rápidas, más exactas y más versátiles para maquinar piezas muy complejas donde era necesaria la intervención manual.

El CN ha tenido gran popularidad debido a su habilidad para fabricar productos de calidad consistentes y más económicos que los fabricados por los métodos convencionales. Es una concepción popular errónea que el CN es justificable únicamente para producción de grandes cantidades, justamente lo opuesto es la verdad. Una comparación actual del CN con los métodos convencionales indica que el punto de equilibrio se consigue más rápidamente que con los métodos convencionales.

2.2.3.3.3. Antecedentes del CN

El desarrollo del progreso tecnológico llevado a cabo por el hombre se puede seguir a través del uso de las diferentes herramientas y máquinas que éste ha utilizado a lo largo de su existencia en la faz de la tierra.

Los nuevos métodos de producción que día se han ido desarrollando han aumentado los beneficios de los productores y el número de horas de trabajo de la jornada laboral ha ido disminuyendo. Así mismo las tareas más arduas y peligrosas antes ejecutadas por el hombre, han sido aligeradas y en muchos casos eliminadas gracias al uso cada vez mayor de las máquinas de control numérico.

El control numérico(CN) puede definirse como un dispositivo capaz de controlar el movimiento exacto de uno o varios órganos de la máquina-

herramienta de forma automática a partir de una serie de *datos numéricos programados*, que hacen funcionar los controles y motores eléctricos de la máquina-herramienta para realizar las siguientes funciones:

- ✓ Los movimientos de los carros.
- ✓ Las velocidades de posicionamiento y mecanizado.
- ✓ Los cambios de herramientas.
- ✓ Las condiciones de funcionamiento (refrigeración, lubricación, etc).

Por lo que se requiere que dichas máquinas estén construidas de tal manera que mantengan su exactitud durante temporadas prolongadas. Sabemos que el desgaste es un problema asociado con todo dispositivo mecánico, y por lo tanto en una máquina-herramienta afecta directamente la exactitud de la misma, por esta razón en la máquinas con control numérico se emplean varios tipos de cojinetes para movimiento lineal, los cuales aprovechan las ventajas de rodamiento de los baleros de bolas en aplicaciones de movimiento lineal, con el fin de lograr desplazamientos casi libres de rozamiento.

Como ejemplo de la exactitud de las máquinas modernas comparadas con las pioneras; tenemos el caso del torno de mandrilar de Wilkinson que hizo posible la producción del cilindro de la máquina de vapor de Watt; dicho torno permitió mandrilar el cilindro citado con una precisión de redondez de aproximadamente 0.040" (1.0 mm, mientras que hoy en día a los operarios de torno se les exige producir piezas con tolerancias de millonésimas de pulgada, o milésimas de milímetro.

El control numérico de las máquinas por medio de agujeros perforados en una cinta de 1" (25.4 mm) es un invento que se produjo inmediatamente después de la segunda guerra mundial. Sin embargo, sus inicios se remontan hasta épocas muy anteriores, como se muestra en el siguiente cuadro cronológico (ver anexo 8).

Los primeros equipos de control numérico con electrónica de válvulas, relés y cableado tenían un volumen mayor que las propias máquinas herramientas, con una programación manual en lenguajes máquina muy compleja y muy lenta de programar, no se parecen nada a los sistemas actuales basados en microprocesadores con lenguaje de alto nivel y programación interactiva. En función de la electrónica utilizada en las máquinas de control numérico se tienen cuatro generaciones:

- ✓ 1950 Válvulas electrónicas y relés.
- ✓ 1960 Transistores.
- ✓ 1965 Circuitos integrados.
- ✓ 1975 Microprocesadores.

Claro está, que paralelamente ha evolucionado el diseño de las máquinas, tanto en su estructura como en sus cadenas cinemáticas, en los dispositivos de accionamiento y control, y en las funciones de mecanizado para lograr máquinas-herramienta más precisas y capaces de desarrollar múltiples operaciones en una sola máquina.

A fines de los años 60 aparece el control numérico por ordenador, donde las funciones de control se realizan mediante programas en la memoria del ordenador, de tal manera que pueden adaptarse fácilmente con sólo modificar el programa. En ese tiempo los ordenadores eran caros y grandes, por lo que la única solución práctica para el CN era disponer de un ordenador central conectado a varias máquinas que desarrollaba a tiempo compartido todas las funciones de control de las mismas. Esta tecnología se conoce como el control numérico directo DCN (Direct Numerical Control). A principios de los 70, se empezó a aplicar un ordenador a cada máquina; a esta nueva tecnología se le llamo Control Numérico Computarizado CNC (Computer Numerical Control).

En la actualidad todas las máquinas-herramienta se diseñan con CNC, debido a las ventajas que presentan con respecto al CN convencional, así como también la automatización y sistemas de fabricación flexible se basan en este tipo de máquinas.

2.2.3.3.4. Ventajas y desventajas del CN

Antes de tomar la decisión en la utilización de una máquina- herramienta convencional, una máquina CN o una CNC para un trabajo en particular, será necesario primeramente analizar detenidamente las siguientes ventajas y desventajas de las máquinas CNC.

a. Ventajas

- ✓ Incremento en la productividad.
- ✓ Mayor seguridad con las máquinas-herramienta.
- ✓ Reducción del desperdicio.
- ✓ Menores posibilidades de error humano.
- ✓ Máxima exactitud e intercambiabilidad de las piezas.
- ✓ Mejor control de calidad.
- ✓ Menores costos de herramienta.
- ✓ Mínimo inventario de piezas de repuesto.
- ✓ Menores horas de trabajo para la inspección.
- ✓ Mayor utilización de las máquinas.
- ✓ Flexibilidad que acelera los cambios en el diseño.
- ✓ Perfeccionamiento en el control de la manufactura.
- ✓ La posibilidad de maquinar piezas muy complicadas.
- ✓ Fácil ajuste de la máquina, lo cual requiere menos tiempo que otros métodos de manufactura.
- ✓ El operador tienen tiempo libre, que puede usarse para supervisar operaciones de otras máquinas.

e) Desventajas

- ✓ Costo elevado de inversión inicial.
- ✓ Incremento en mantenimiento eléctrico.
- ✓ Mayor costo por hora de operación.
- ✓ Reentrenamiento del personal.
- ✓ Mayor espacio de piso para la máquina y equipo.
- ✓ Largo tiempo de preparación para cada serie de producción.
- ✓ Proceso inflexible, desde el punto de vista de que cada máquina ha sido planeada para hacer cierto ciclo de operaciones establecidas. Si la configuración cambia el ajuste de la máquina debe reconstruirse o alterarse.
- ✓ Se requiere una gran cantidad de partes durante el proceso, ya que una parte debe mantenerse en cada máquina.
- ✓ No es recomendable para pequeñas producciones, es necesario únicamente para producciones en masa donde se producen millones de partes.

Lo expuesto anteriormente no es una lista completa de las ventajas y desventajas de las máquinas de control numérico; sin embargo nos podría dar una idea de los tipos de trabajo para los cuales son convenientes dichas máquinas. “Para iniciar una discusión de las ventajas del CN uno debe comprender que la parte (pieza fabricada), gasta únicamente el 5 % aproximadamente de su tiempo de fabricación sobre una máquina convencional en el taller.” Únicamente el 1.5 % aproximadamente del tiempo sobre la máquina es gastado cortando metal, como puede observarse en la figura 11.

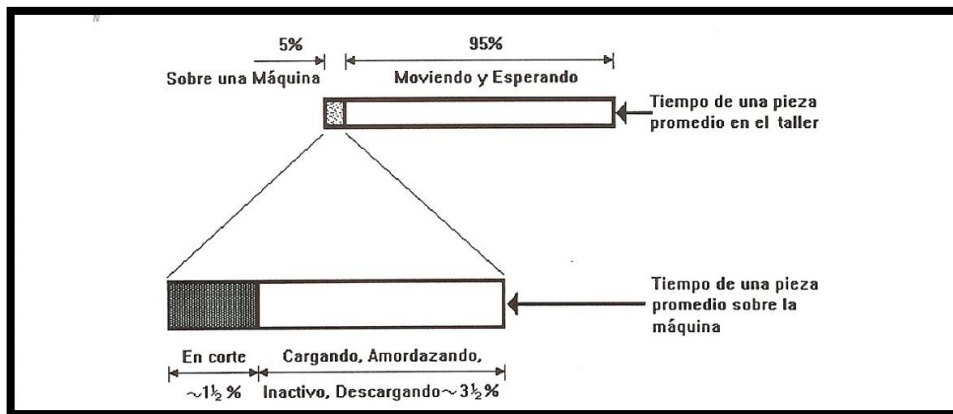


Figura 11. Análisis de tiempo consumido para una pieza promedio en el taller.

Actualmente el trabajo del CN es reducir los tiempos improductivos. Con el establecimiento del CN, las funciones manuales se han eliminado, tales como: selección de velocidades del husillo, cambios de herramientas, avances, refrigerantes y la indexación de dispositivos automáticos. Se ha aceptado generalmente que las máquinas con CN son las más efectivas en el desarrollo de la manufactura para reducir los costos por unidad de producción.

Para un mejor entendimiento de las ventajas del CN se dará la siguiente explicación.

Hay cuatro fases básicas que ocurren en la mayoría de las manufacturas. La primera fase es la Ingeniería o la determinación del diseño del producto, forma, tolerancia y material. La segunda fase es la planeación de los procesos en la cual se incluyen las disposiciones que se tomarán concernientes a la selección del sistema de manufactura desde el orden de las operaciones hasta los estándares de inspección. La tercera fase es la planeación económica la cual incluye la determinación del tamaño del lote económico, materia prima y análisis de inventarios. La cuarta fase es la de producción que incluye el entrenamiento de los operadores de la máquina.

En la manufactura con máquinas convencionales la fase de producción era la fase que frecuentemente se consideraba de mayor importancia. Cuando se utilizan los modernos sistemas de control numérico en el trabajo de los metales, todas las fases son importantes, e inclusive el CN tiende a reducir la importancia de la *fase de producción* en relación a las otras. Cuando el CN es utilizado sabiamente provee grandes ahorros en los costos a través de todo el proceso de manufactura. Antes de que existiera el CN los ingenieros estaban limitados al diseño de formas y contornos que podían ser maquinados con los métodos convencionales. El CN hace posible producir aún las formas más complejas sin costos extremadamente altos. Otra ventaja del CN es la habilidad para hacer cambios o ajustes con un mínimo de demoras o gastos.

Un alto grado de calidad es inherente a los procesos de CN causado por su exactitud, repetitividad y libertad para variar lo programado, el proceso de control de calidad se realiza rara vez después de la inspección de la primera pieza de cada lote producido, así como el chequeo a las funciones programadas. Para checar la exactitud posicional se utiliza un sistema de medición por coordenadas, que en centros de maquinado modernos vienen integrados con estos sistemas.

La exactitud es lo más importante cuando dos partes producidas tienen que ensamblarse. Es importante también en la manufactura de partes intercambiables, especialmente en la industria aeroespacial y en los motores industriales. La producción de un aparte que requiere exactitud del orden de 0.01 mm. o más, puede llevar un tiempo considerable usando métodos convencionales, el operador tiene que detener el proceso de corte frecuentemente para tomar medidas para que la pieza no sea sobre cortada. Las máquinas herramienta con CN ahorran mucho tiempo mientras mantienen o mejoran las tolerancias requeridas.

Un ahorro adicional de tiempo se acumula al pasar de una operación a otra durante el funcionamiento de la máquina en una pieza de trabajo.

Con una máquina convencional el trabajo debe parar en ciertos puntos, hasta que el operador prosiga al siguiente paso. La cantidad y calidad también disminuye por la fatiga del operador. En las máquinas con CN estos problemas no existen, ya que la exactitud es inherente al control y es repetitiva, y el tiempo de producción es constante para cada pieza ya que está determinado por el programa.

El corte del contorno en tres dimensiones o aún en dos no se puede formar por operaciones manuales. Aun cuando es posible, el operador tiene que manejar las dos manivelas simultáneamente mientras trata de mantener la exactitud requerida; por lo que sólo es posible cuando la parte es simple y requiere relativamente poca exactitud. Es obvio que, en este tipo de trabajo una máquina herramienta con CN ahorra gran parte del tiempo y aumenta la exactitud comparada con la operación manual.

2.2.3.4. Diferencias y semejanzas entre una máquina herramienta convencional y una con CN.

Se dice que una máquina herramienta es convencional cuando utiliza los métodos tradicionales de maquinado requiriéndose forzosamente la presencia de un operador con cierta especialización para mantener la máquina trabajando.

La máquina con CN en cambio no requieren la presencia constante del operador, ya que la máquina una vez programada ejecutará el maquinado sin la ayuda del operador sólo se requiere su presencia para retirar la pieza maquinada y colocar la pieza por maquinar. Incluso en máquinas con CN con alimentador de barra o con brazos robotizados el operador ya no es necesario ya que el cambio de pieza está automatizado. Requiriéndose únicamente un Ingeniero Industrial especializado para la programación y el control de las máquinas con CN.

Las diferencias más notables entre ambos tipos de equipos son debidas básicamente a sus elementos y dispositivos utilizados en su construcción. En la tabla 1, podemos observar que los elementos mecánicos tradicionales que por décadas se han utilizado en las máquinas convencionales han sido sustituidos en los equipos con CN. por otros elementos mecánicos y electrónicos más confiables.

Característica a comparar	Maquina Convencional	Maquina con C.N.
Forma de realizar el cambio de herramienta	Por el operador en forma manual y en ocasiones por palancas de cambio	Automática programada y dirigida por control.
Forma de control de las dimensiones durante el maquinado.	Por medio de instrumentos de medición y por las graduaciones de la manivelas.	Por el control utilizando los off sets de compensación.
Forma de Control de las RPM del husillo principal.	Por medio de trenes de engranes intercambiables movidos por palancas de cambio.	Automática programada y comandada por el control, utiliza un servomotor y un encoder.
Forma para desplazar un contorno.	Trenes de engranes, manivelas y tornillos sin fin.	Husillos y correderas a base de bolas y servomotores.
Tipo de mecanismo del husillo.	Flecha, tuercas partidas y baleros.	Husillos de bolas.
Forma para fresar un contorno.	Por el operador manipulando por lo menos dos manivelas.	Programada y comandada por el control.
Formas para tornejar una rosca.	Manual, accionando palancas y manivelas.	Programada y comandada por el control.
La precisión de los maquinados.	Generalmente depende de la habilidad del operador.	Depende de la resolución del sistema y es máxima y constante.
Tiempo de maquinado.	Depende del operador.	Pre calculado y siempre constante en cada pieza.
Refrigeración.	Manual accionada por un interruptor y una llave.	Programada y comandada por el control.

Tabla 1: Diferencias entre una máquina convencional y una máquina con Control Numérico.

El otro elemento que distingue al equipo con Control Numérico es la presencia de servomotores que controlan los movimientos de los ejes (o mesas) y controlan la velocidad del husillo, así como su movimiento en el caso de ser requerido. Estos servomotores pueden trabajar con corriente directa o con corriente alterna dependiendo del fabricante pero su función es la misma.

Dependiendo de las funciones que debe realizar la máquina, el Control, a través de detectores de proximidad puede controlar por ejemplo el movimiento de un brazo que cambie la herramienta en una fresadora, la alimentación de material en barra y detectar cuando esta se termine para cambiar la barra por otra nueva en caso de tornos alimentados por barra, hacer girar la torreta de un torno para seleccionar otra herramienta deseada y hasta detectar si el movimiento comandado es demasiado grande que provocaría que la máquina choque o se salga de su límite de movimientos normales, etc. Además, ya que el control es el que ordena la ejecución de estos movimientos a sus elementos respectivos, nos puede dar en todo momento el informe de lo que está realizando, lo que está por realizar y los puntos en los que ha fallado algún mecanismo o sistema interno de la misma máquina.

Cualquier función por extravagante que parezca puede ser controlada por la Unidad de Control Numérico siempre y cuando tenga una secuencia lógica y pueda ser detectada esta secuencia, de ahí que la gran variedad de equipos de Control Numérico sólo varíen en la cantidad de funciones adicionales que el equipo pueda realizar; el tamaño del equipo y la potencia que deba desarrollar influirá determinadamente en el tamaño y potencia de los servomotores y de las unidades de control de velocidad pero conservándose el mismo principio de funcionamiento. Así en la Industria Moderna existe una gran variedad de marcas de equipos manufacturados por diferentes países, teniendo como única diferencia el Lenguaje de Programación. Lo anterior se debe a que a pesar de que el Control Numérico se ha difundido con tal velocidad, aún no se ha generalizado el Lenguaje Universal de Programación, son muy parecidos, pero tienen sus variantes, como pueden ser en los controles Fanuc, General Electric, Anilam, etc.

2.2.3.5. Programación de las máquinas fresadoras de CNC

2.2.3.5.1. Sistemas de ejes de coordenadas.

Las herramientas de una máquina CNC pueden realizar ciertos movimientos según el tipo de máquina. En una fresadora (Figura 12), hay un movimiento añadido a los movimientos fundamentales (movimientos longitudinales y movimientos transversales), llamado movimiento transversal secundario.

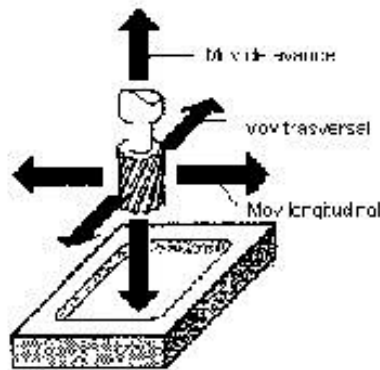


Figura 12. Movimientos durante el fresado.

Para controlar la herramienta de forma precisa durante estos movimientos, todos los puntos dentro del área de trabajo de la máquina deben permitir una definición clara y universalmente comprensible.

Los sistemas de coordenadas se usan con este propósito, proporcionando una orientación al programador durante la confección de programas.

a) Sistemas de coordenadas de dos ejes

La forma más simple de un sistema de coordenadas para programación de control numérico consiste en dos ejes con intersección en ángulo

recto. La intersección es el punto cero u origen del sistema de coordenadas.

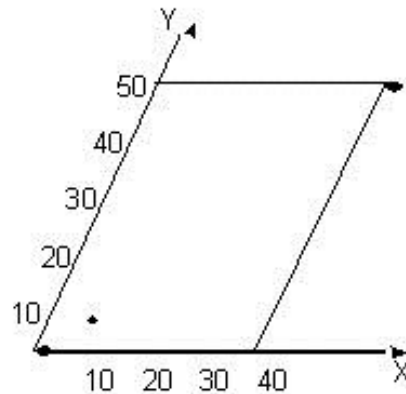


Fig. 13. Posición determinada con la ayuda de coordenadas X/Y.

Un sistema de coordenadas con dos ejes permite una descripción/definición precisa de todos los puntos (vértices, centros de círculos, etc.) en el dibujo de una pieza como se describe en la figura 13.

Normalmente, la geometría de una pieza se describe de manera precisa mediante el dibujo de la pieza y sus dimensiones. Si ubicamos la pieza en un sistema de coordenadas, la forma de la pieza queda descrita determinando la posición de sus puntos. Para esto, las distancias relativas de cada uno de estos puntos a los ejes X e Y tienen que ser leídas en las escalas de cada punto dimensional.

La distancia de los puntos desde el eje Y se llama coordenada X porque puede ser establecida utilizando la escala del eje X.

La distancia de los puntos desde el eje X se denomina coordenada Y porque puede determinarse en el eje Y.

El sistema de coordenadas mostrado en el siguiente apartado se conoce como sistema de coordenadas "de dos dimensiones" porque tiene dos ejes de coordenadas. Si la posición de la pieza dentro del sistema de

coordenadas se modifica, pueden resultar los valores mostrados en la figura 14. Es importante tener en cuenta en cada caso los signos (+,-).

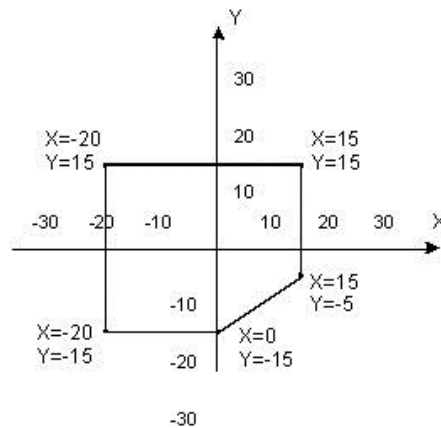


Fig. 14. Puntos con coordenadas positivas y negativas.

b) Sistemas de coordenadas de tres ejes

Cuando el dibujo de una pieza es referido dentro de un sistema de coordenadas, cada punto del dibujo puede ser determinado estableciendo dos coordenadas. Por otra parte, cuando mecanizamos piezas con torno o fresadora, es necesario "imaginar" la pieza en 3-D. En el caso del agujero (taladro) de la Fig. 16, no es sólo cuestión de dónde se localiza el taladro en la cara de la pieza sino en la profundidad. Para ser capaces de representar "piezas 3-D" necesitamos un sistema de coordenadas con tres ejes.

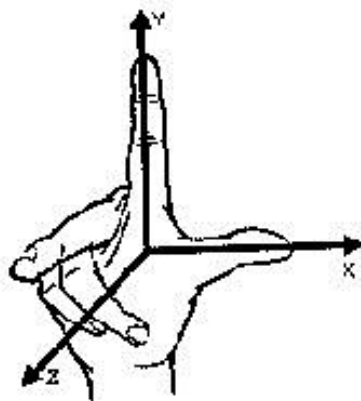


Fig. 16. Regla de la mano derecha.

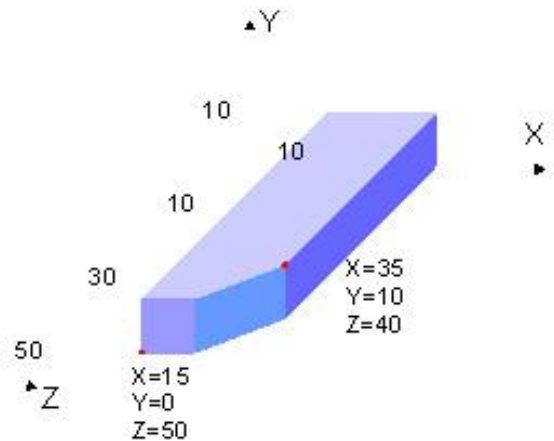


Fig. 17 Coordenadas 3-D.

Los ejes de coordenadas se nombran por la "regla de la mano derecha" (ver Fig. 16).

Las coordenadas 3D X, Y, Z de una pieza se obtienen estableciendo la posición de los puntos dimensionales (es decir, los vértices), en los tres ejes (Fig. 17). Los ejes en el sistema de coordenadas presentan ángulos rectos entre sí. Cada eje tiene valores y direcciones negativas y positivas. El sistema de coordenadas del siguiente apartado, presentado con la regla de la mano derecha, también se conoce como "sistema de coordenadas rotatorio en sentido horario". La razón para esto es la secuencia de la definición de los ejes: Si el eje X gira hacia el eje Y, el movimiento es el mismo que el de un tornillo girando en la dirección Z (hacia dentro con la regla de la mano derecha), como se muestra en la figura 18.

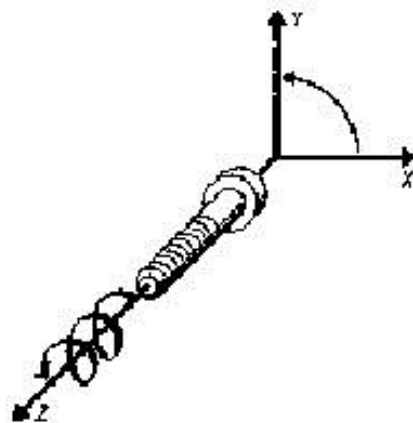


Figura 18. Sistema de coordenadas rotatorio en sentido horario.

c) Sistema de coordenadas de la máquina

El sistema de control de la máquina-herramienta convierte los valores de coordenadas dentro del programa de CN:

- En movimientos de herramienta. (Fig. 19)

- En movimientos de pieza (Fig. 20.)

La dirección de trabajo es la misma en ambos casos. Cuando se programa una operación de torneado, generalmente se asume que la pieza es fija y que sólo se mueve la herramienta. Esta forma de ver la situación se denomina "movimiento relativo de herramienta".

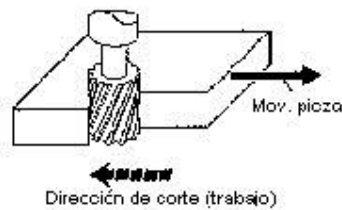


Figura 19. Pieza fija.

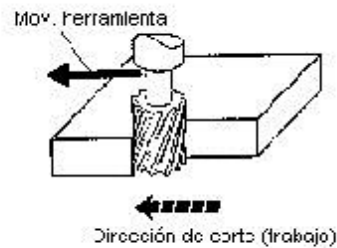


Figura20. Herramienta fija

El mecanizado de una máquina mediante un programa de CN requiere aplicar un sistema de coordenadas a la máquina herramienta.

Cuando se programa, se debe asumir que la pieza es estacionaria y que las herramientas se mueven en el sistema de coordenadas. Únicamente este enfoque posibilita que el control de la herramienta de trabajo sea claro y universalmente aceptado, fijando las coordenadas correspondientes.

La pieza se posiciona con el sistema de coordenadas de forma que el eje Z coincide con la línea central de torneado (eje de rotación) y los ejes X e Y siempre tienen la misma dirección. Por tanto, el eje Y no se usa en torneado. El eje transversal es el eje X y el eje longitudinal el eje Z. Los valores de X se dan frecuentemente en dimensiones de diámetros. En máquinas-herramienta, el eje Z de coordenadas coincide con el eje del husillo de trabajo y corre paralelo a él.

2.2.3.5.2. Ángulos de rotación y coordenadas polares

Con los sistemas de coordenadas también es posible describir la posición de los puntos estableciendo ángulos y distancias (fig. 21).

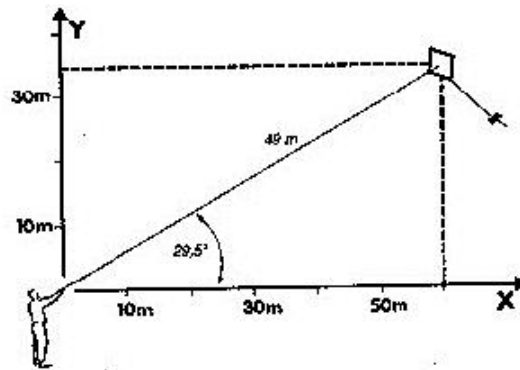


Figura 21. Representación de un punto mediante un ángulo y coordenadas polares.

Algunas operaciones de mecanizado requieren la programación de ángulos de rotación sobre uno o varios ejes de coordenadas. La rotación sobre los ejes de coordenadas se identifica por los ángulos de rotación A, B y C (ver Fig. 22). La dirección de rotación será positiva (+) cuando la dirección de rotación sea en sentido horario vista desde el origen de coordenadas, mirando en la dirección del eje positivo. Los ángulos de rotación pueden utilizarse, por ejemplo, para programar coordenadas polares en un único plano.

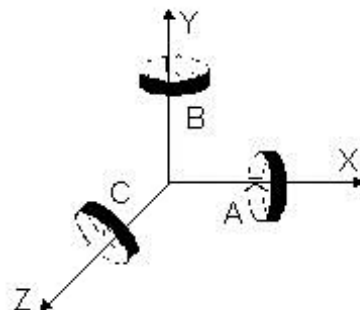


Figura 22. Ángulos de rotación de eje A, B y C.

Las coordenadas polares de un punto (ver punto P en Fig. 23) consisten en la distancia del origen al punto (por ej. $R = 30 \text{ mm}$), así como el ángulo (por ej. $C = 30^\circ$) formado entre esta distancia y un eje de coordenadas fijo (por ej. el eje X). Los ángulos de coordenadas polares se identifican por A, B y C.

- ✓ Si el punto pertenece al plano X/Y del sistema de coordenadas, el ángulo de la coordenada polar es igual al ángulo de rotación sobre el eje Z: C (Fig. 22).
- ✓ Si se encuentra en el plano Y/Z, el ángulo es igual al ángulo de rotación sobre el eje X: A.
- ✓ Si está en el plano X/Z, el ángulo es igual al ángulo de rotación sobre el eje Y: B.

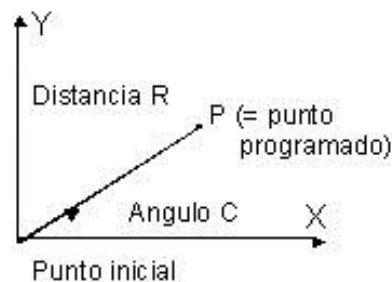


Figura 23. Coordenadas polares (R, C) en el plano X/Y.

En las máquinas-herramienta con movimiento de rotación de la pieza o las herramientas, los ejes de giro se designan por los ángulos de rotación A, B, C. El prefijo (+/-) para el ángulo de la coordenada polar viene determinado por la dirección de rotación (dirección de giro) del ángulo sobre el tercer eje (es decir, el eje Z) visto desde el origen de coordenadas.

- ✓ En sentido horario: +
- ✓ En sentido antihorario: -

Los detalles precisos sobre la elección del prefijo pueden encontrarse en las instrucciones de programación del fabricante del control.

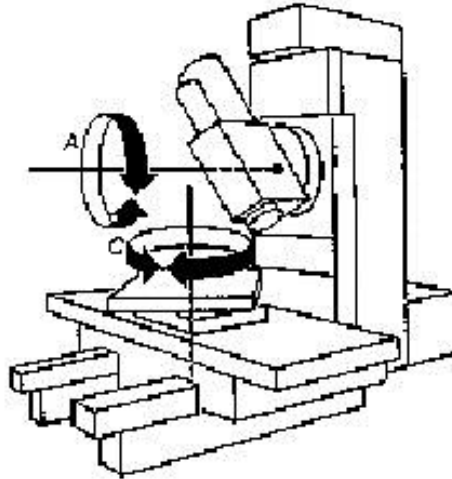


Figura 24. Ejemplos de ángulos de rotación (ángulos de giro) en máquinas-herramienta.

2.2.3.5.3. Puntos significativos en programación CNC

En las máquinas-herramienta CNC, las trayectorias están controladas mediante sistemas de coordenadas. Las posiciones precisas de las herramientas y las piezas dentro de la máquina-herramienta se establecen a partir de unos puntos de origen. Además de estos orígenes de coordenadas, las máquinas-herramienta CNC disponen de un cierto número de puntos de referencia de forma que entre todos ellos posibilitan el funcionamiento y la programación de los movimientos.

La imagen adjunta da una idea general sobre los puntos de origen y de referencia que se explicarán con detalle a continuación. Los puntos de origen representados son:

- ✓ El origen de máquina: M
- ✓ El origen de pieza o punto cero: W

Los puntos de referencia representados son:

- ✓ El punto de referencia de máquina: R
- ✓ Los puntos de referencia de la herramienta (Punto de reglaje de la herramienta: E y Punto de montaje de la herramienta: N)

2.2.3.5.4. El origen del programa

La fijación de una pieza a la máquina CNC se puede comparar con la ubicación del plano de la pieza dentro del sistema de coordenadas. Cada máquina-herramienta CNC dispone de un sistema de coordenadas. Dicho sistema se define mediante los posibles movimientos y el sistema de medida que llevan asociados dichos movimientos.

La figura 25 muestra el plano de una pieza en el sistema de coordenadas de una máquina-herramienta. El taladro A, con cotas 23 y 10 mm, tiene las coordenadas $x=71$ e $Y=35$ en el sistema de coordenadas de la máquina-herramienta.

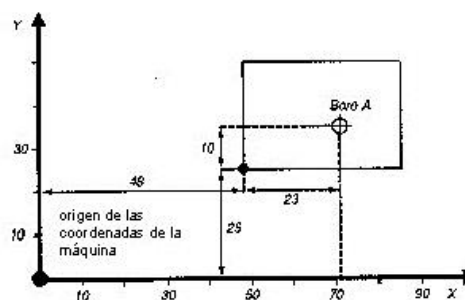


Figura 25. Croquis de una pieza en el sistema de coordenadas de la MHCN.

El cero máquina está establecido por el fabricante de la misma. Es el origen del sistema de coordenadas de la máquina y es el punto de

comienzo para todo el resto de sistemas de coordenadas y puntos de referencia de la máquina.

En las fresadoras, la posición del cero máquina varía según el fabricante. La posición precisa del cero máquina así como la dirección positiva del eje X tienen que tomarse del manual de instrucciones de cada máquina en particular.

Las ilustraciones presentan ejemplos adicionales de la posible localización de los puntos de origen de máquina en diferentes tipos de máquina-herramienta, así como los sistemas de referencias asociados (Ver Fig. 26).

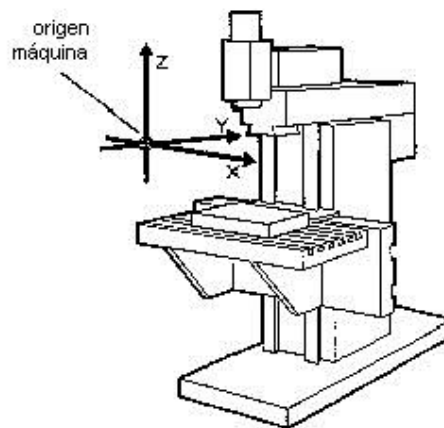


Figura 26. Posición del origen máquina en fresadoras CN.

En las fresadoras, el origen de máquina (cero de la máquina) puede estar situado en el centro de la mesa o en un punto a lo largo del borde del recorrido de la misma.

2.2.3.5.5. Puntos de referencia

La finalidad de un punto de referencia puede ser comparada con la de un mojón kilométrico. Imagine la siguiente secuencia de sucesos (ver la figura 27):

- ✓ Al comienzo del viaje no conoce lo lejos que está el destino.
- ✓ A lo largo del camino puede ver un mojón kilométrico (punto de referencia) que aporta la distancia precisa hasta el destino. Entonces, se pone el cuentakilómetros a cero.
- ✓ De ahora en adelante, puede establecer, en cualquier momento, lo alejado que está del destino o del punto de referencia (mojón kilométrico).

Las tres situaciones dentro de esta secuencia pueden relacionarse con una máquina-herramienta del siguiente modo:

- ✓ Puesta en marcha de la máquina.
- ✓ Posicionamiento en el punto de referencia y calibración del sistema de medición de los movimientos.
- ✓ Continúa la indicación de la posición de la herramienta en cada instante.

El punto de referencia de máquina R, sirve para calibrar y para controlar el sistema de medición de los desplazamientos de los carros y los recorridos de las herramientas. La posición del punto de referencia está predeterminada con precisión en cada uno de los ejes de desplazamiento mediante taqués y finales de carrera. De esta forma, las coordenadas del punto de referencia siempre son las mismas y su valor numérico respecto al cero máquina es conocido con precisión.

Después de inicializar el sistema de control siempre hay que llevar la máquina al punto de referencia, en todos sus ejes, con el fin de calibrar el sistema de medición de los desplazamientos. Si se perdiesen los datos de posición de carros y herramientas debido a un fallo en el suministro eléctrico, por ejemplo, la máquina-herramienta tiene que volverse a posicionar en el punto de referencia para restablecer los apropiados valores de posición.

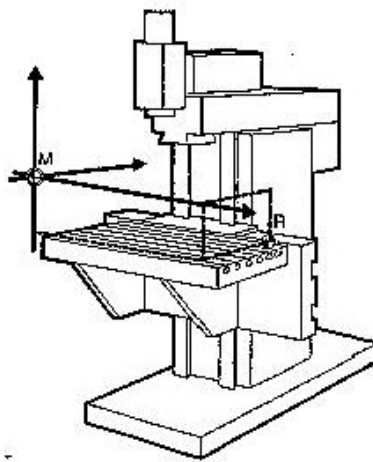


Figura 27. Punto de referencia en una fresadora.

Las máquinas-herramienta equipadas con captadores de posición absolutos no requieren el punto de referencia de máquina debido a los precisos valores de las coordenadas de los recorridos en cada eje y a que dichos valores pueden obtenerse directamente en cualquier momento. Sin embargo, la mayoría de las máquinas-herramienta CNC utilizan sistemas de medición de recorridos incrementales que necesariamente demandan un punto de referencia para su calibración. Cuando el taqué activa el final de carrera en el punto de referencia, el sistema de medición se resetea a cero o a un valor predeterminado. Para obtener el nivel de precisión necesario, la aproximación al punto de referencia situado en los últimos tramos de los recorridos de la máquina se efectúa a baja velocidad y siempre en la misma dirección de avance.

2.2.3.5.6. El origen de la pieza

Las ilustraciones muestran cómo es posible simplificar las coordenadas de la pieza eligiendo una posición favorable del sistema de coordenadas.

La figura "a" presenta un cuadrado posicionado en un punto arbitrario del sistema de coordenadas. La figura "b" muestra el mismo cuadrado con dos de sus bordes coincidiendo con los ejes X e Y. Así, los valores de las coordenadas pueden tomarse directamente de las dimensiones del plano de la pieza y de esta forma chequearse más fácilmente, evitando cálculos adicionales (Ver Fig. 28).

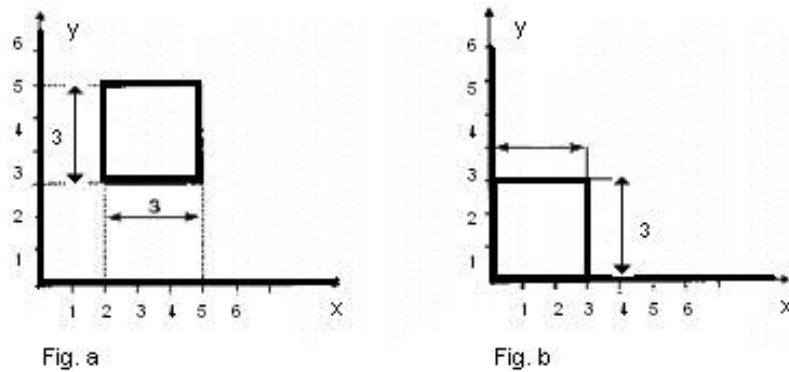


Figura 28. Posiciones favorables del sistema de referencia.

El punto de referencia de máquina W, representado por, determina el sistema de coordenadas de la pieza en relación con el origen máquina. El origen de coordenadas de la pieza lo elige el programador y se introduce en el sistema CNC al preparar la máquina.

La posición del cero pieza puede ser libremente asignada por el programador dentro del espacio de trabajo de la máquina. No obstante, es conveniente situarlo de forma que las dimensiones de la pieza puedan transformarse fácilmente en valores de coordenadas. Para piezas torneadas, el cero pieza suele ubicarse a lo largo del eje principal (línea central), en la superficie acabada extrema, ya sea la izquierda o la derecha. Para piezas fresadas, se recomienda situarlo en general en

una esquina extremo de la pieza. A veces, el cero pieza también se llama punto cero de programación. La posición del cero pieza debe elegirse de forma que:

- ✓ Los valores de las coordenadas puedan extraerse del plano de la pieza, tan directamente como sea posible.
- ✓ La orientación al sujetar y soltar la pieza, al preparar y comprobar el sistema de medición de los desplazamientos, pueda establecerse fácilmente.

2.2.3.5.7. Los decalajes de la herramienta

Al programar el contorno de una pieza, lo importante es siempre el recorrido del filo cortante de la herramienta. El carro portaherramientas, por ejemplo, el husillo principal en las fresadoras, tiene que desplazarse de forma que el filo siga precisamente el contorno deseado.

La longitud de herramienta programada tiene que ser acorde con la longitud de la herramienta actual (figura a). Si el sistema de control comienza con una longitud de herramienta equivocada no se logrará el contorno deseado. Si la herramienta es demasiado corta (figura b), quedará material sin mecanizar. Si es demasiado larga (figura c), se mecanizará demasiado material.

La longitud de las herramientas (decalajes) son, por tanto, medidas previamente a la ejecución del programa de mecanizado y esta información se introduce en la memoria de datos de herramientas del control (Ver Fig. 29).

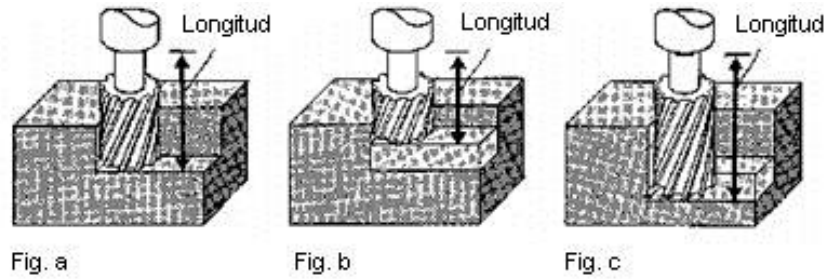


Figura 29. Longitud útil de una fresa.

Al mecanizar una pieza, es esencial poder controlar el punto de la herramienta o los filos de la misma en relación precisa con los contornos de la pieza a lo largo de las rutas de mecanizado. Dado que las herramientas tienen diferentes formas y dimensiones, las dimensiones precisas de la herramienta tienen que establecerse antes del mecanizado y ser introducidas en el sistema de control.

Las dimensiones de la herramienta se toman a partir de un punto fijo de reglaje durante el pre reglaje de las herramientas. El punto de reglaje E, está situado en algún punto del alojamiento de la herramienta (figura 3.34). Dicho punto permite la medición de las herramientas desde la máquina-herramienta CN.

Los datos así medidos se introducen en el almacén (memoria) de datos de herramientas del sistema de control:

- ✓ La longitud de la herramienta como coordenada Z o L.
- ✓ El punto de compensación de la herramienta o radio de la herramienta como coordenada X, R o Q.

Los puntos de referencia de las herramientas son importantes para el reglaje de las mismas. Los datos de las herramientas tienen que introducirse en la memoria del control antes de las opera. Para lograr una determinación precisa del punto de la herramienta respecto al cero

máquina el control utiliza el alojamiento de la herramienta en combinación con las dimensiones de la misma.

En máquinas-herramienta con carros portaherramientas complejos, tornos y centros de mecanizado por ejemplo, los cálculos pueden requerir no sólo el alojamiento de la herramienta, sino también puntos de referencia de herramienta relacionados con los mecanismos de movimiento de la máquina, como por ejemplo, el punto de referencia del carro portaherramientas y el punto de referencia de la mesa.

2.2.3.5.8. Desplazamientos

Para las operaciones de mecanizado que se efectúan en las piezas, las herramientas tienen que recorrer de forma precisa las trayectorias correspondientes a cada tipo de operación. Las trayectorias de herramienta posibles dependen de cada tipo de máquina y de la capacidad de los sistemas de control.

El tipo de máquina fija los posibles desplazamientos en los ejes, por ejemplo los recorridos transversales, aplicados a la herramienta o al carro portapieza, así como los movimientos de avance y revolución del husillo de trabajo. El tipo de configuración del control, por ejemplo control de desplazamientos rectos, contorneado 2D, etc., determina cómo pueden coordinarse los desplazamientos entre sí.

Esta "coordinación" que permite controlar los movimientos de la herramienta se alcanza mediante el sistema de control con la ayuda de cálculos internos conocidos como "interpolación".

Los tres siguientes apartados de la Fig. 30 se explican qué movimientos fundamentales de la herramienta pueden controlarse con la interpolación

en las máquinas-herramienta CNC y qué efectos tienen dichos movimientos sobre las piezas.

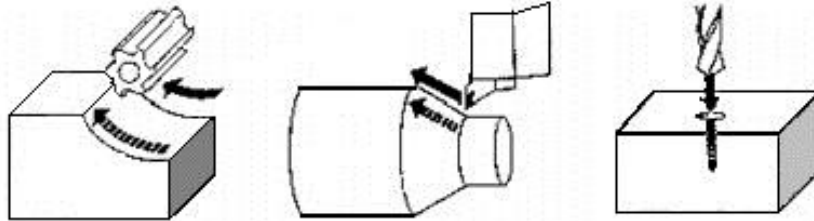


Figura 30. Desplazamientos.

2.2.3.5.8.1. Desplazamientos lineales

En un sistema de coordenadas tridimensional los 3 ejes X, Y y Z forman 3 diferentes planos fundamentales. Estos planos se caracterizan por el hecho de que el tercer eje, en cada caso, es perpendicular al plano, por ejemplo, el eje z es perpendicular al plano XY, etc. Cuando la herramienta se desplaza desde un punto inicial hasta un punto objetivo o destino dado y este desplazamiento se realiza a lo largo de una recta, se tiene una interpolación lineal.

En el caso de **sistemas de control de 2 ejes**, esto implica que las velocidades de la herramienta en los dos ejes están operando conjuntamente para obtener como resultado el desplazamiento recto de la herramienta (figura 31).

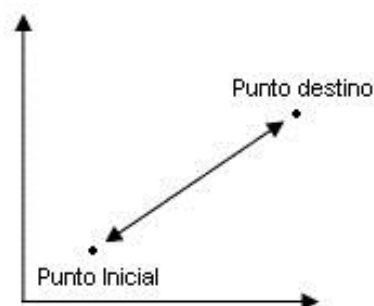


Figura 31. Desplazamiento lineal 2D.

Para sistemas de control de 3 ejes existen dos posibilidades diferentes:

1. *Programación de rectas en uno o varios planos fijos* (figura 32). En este caso, la herramienta se introduce en una única dirección axial. En los otros dos ejes tiene lugar la interpolación lineal. (La colocación de la herramienta tiene lugar en la dirección Z, con el consiguiente desplazamiento lineal en el plano XY)

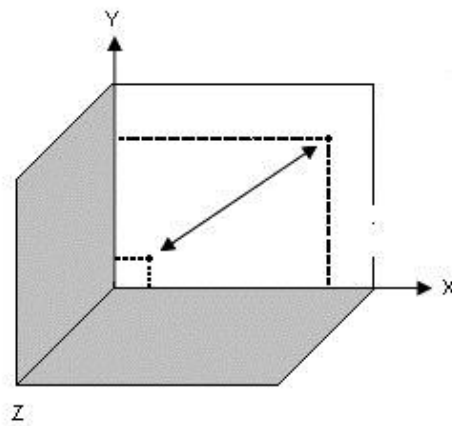


Figura 32. Desplazamiento lineal en el plano XY.

2. *Programación de rectas arbitrarias en el "espacio"* (figura 33). La herramienta puede ser desplazada a lo largo de una recta hasta cualquier punto del espacio; la interpolación lineal se da en los tres ejes.

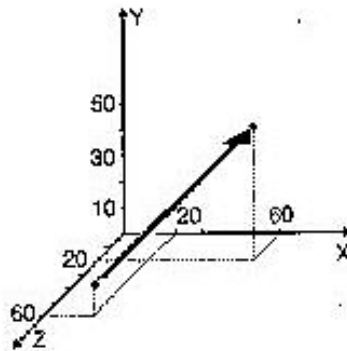


Figura 33. Desplazamiento lineal tridimensional.

En ciertos controles la interpolación lineal sólo es posible a la velocidad de trabajo o avance. El movimiento rápido se emplea sólo para alcanzar posiciones, desplazándose todos los ejes a la máxima velocidad.

2.2.3.5.8.2. Desplazamientos circulares

Para ser capaces de describir círculos en un sistema de coordenadas bidimensional se requiere establecer el centro del círculo y un radio (figura 34).

Para determinar círculos en un sistema de coordenadas tridimensional es necesario además especificar el plano del círculo (figuras 3.40.b y 3.40.c).

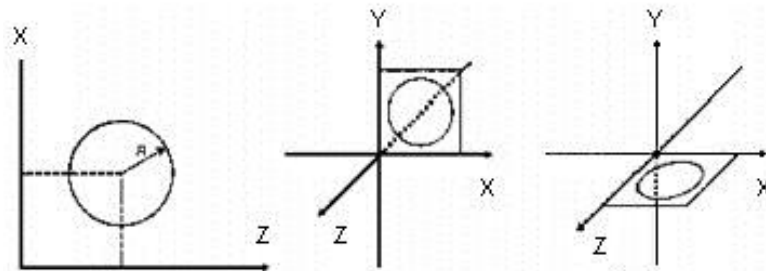


Figura 34. Desplazamientos circulares 2D, en el plano XY y 3D.

Si la herramienta se desplaza de un punto inicial hasta un punto final dado mediante una trayectoria circular, nos encontramos ante lo que se llama interpolación circular. Los arcos de circunferencia se pueden recorrer en el sentido horario (figura 35) o en el sentido antihorario (figura 36).

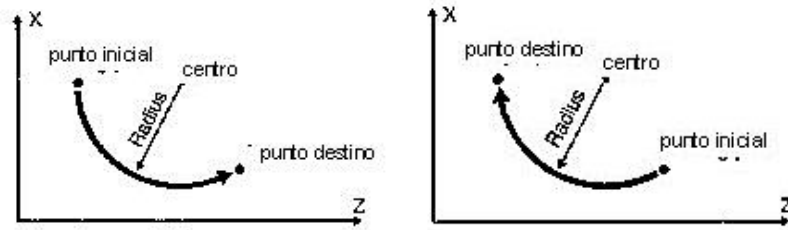


Figura 35. Arco con sentido horario. Figura 36. Arco con sentido anti-horario.

Si el sistema de control tiene más de 2 ejes se requiere la entrada del **plano** en el que se encuentra el arco de circunferencia: por ejemplo, en los planos XY, YZ o XZ. (Ver Fig. 37). Una vez elegido el plano del arco, el mecanizado se puede realizar en varias pasadas de profundidad. (La figura 38) muestra 2 arcos de circunferencia en el plano XY a diferentes niveles de profundidad). La interpolación circular a velocidad rápida no es posible normalmente.

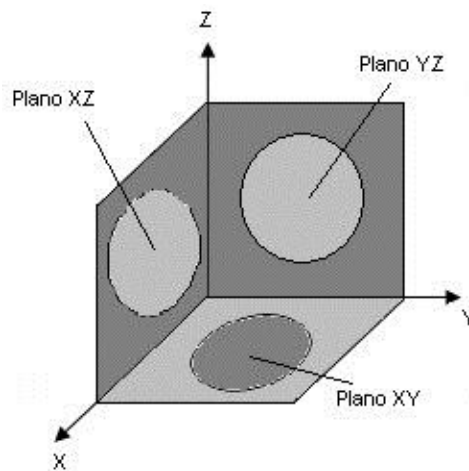


Figura 37. Círculos XY, XZ e YZ.

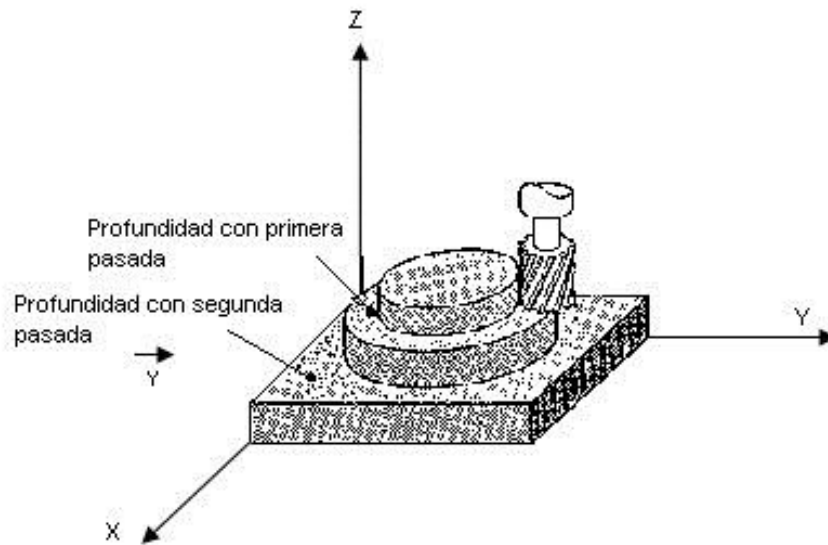


Figura 38. Profundidades de pasada en el plano XY.

2.2.3.5.9. Compensación de la herramienta

Para fresar un contorno, la fresa debe ser guiada de forma que sus filos sigan el contorno (Ver figura 39). Esta trayectoria del centro de la fresa es equivalente a una "trayectoria equidistante".

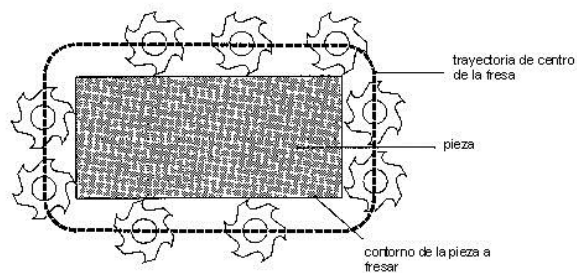


Figura 39. Trayectoria de fresa con compensación.

Hasta ahora se ha hablado de las trayectorias de las herramientas sin mencionar las dimensiones de las mismas y cómo afectan en el contorneado. Compensación del radio de la herramienta.

Para asegurar que el contorno es el fresado, el centro de la fresa debe que desplazarse a lo largo de la ruta mostrada en rojo. Esta ruta de la herramienta se denomina "trayectoria equidistante". Sigue el contorno de acabado a una distancia uniforme que depende del radio de la fresa. En la mayoría de los sistemas CNC modernos, la trayectoria equidistante se calcula automáticamente mediante la compensación del radio de la herramienta. Esta compensación requiere la entrada dentro del almacén de datos de herramientas del programa CN de los siguientes datos:

- La dimensión del radio de la fresa, figura 40.

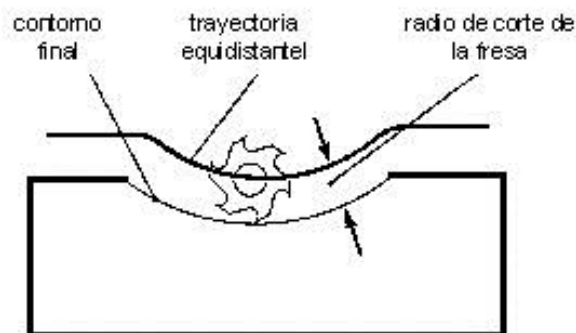


Figura 40. Compensación del radio de corte.

- A qué lado del contorno de acabado programado (referido a la dirección de mecanizado) se sitúa la herramienta (figura 41).

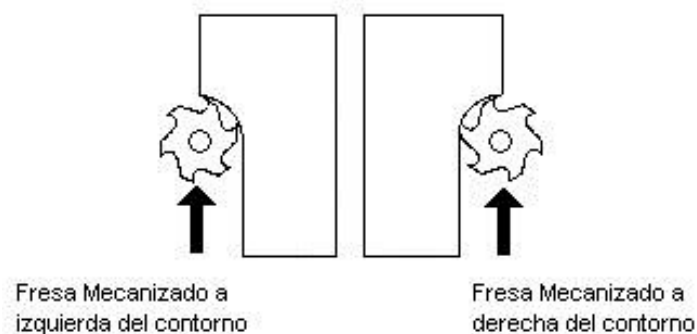


Figura 41. Trayectoria de fresa a izquierda y derecha.

En el torneado, el radio de la fresa se reemplaza por la punta radial de la herramienta de toronar (figura 3.48). Durante la programación del contorno de acabado se asume que la punta de la herramienta es un punto agudo en contacto con la pieza. Sin embargo, en la realidad la punta de la herramienta está redondeada y el control debe compensar el espacio entre la punta teórica de la herramienta y el filo cortante de la misma, calculando la apropiada trayectoria equidistante.

Para asegurar que esta trayectoria equidistante se asigna siempre al lado correcto del contorno es necesario introducir en el control el "cuadrante" correcto. Y dicha información determina la dirección por la cual la punta de la herramienta sigue el contorno (figura 42).

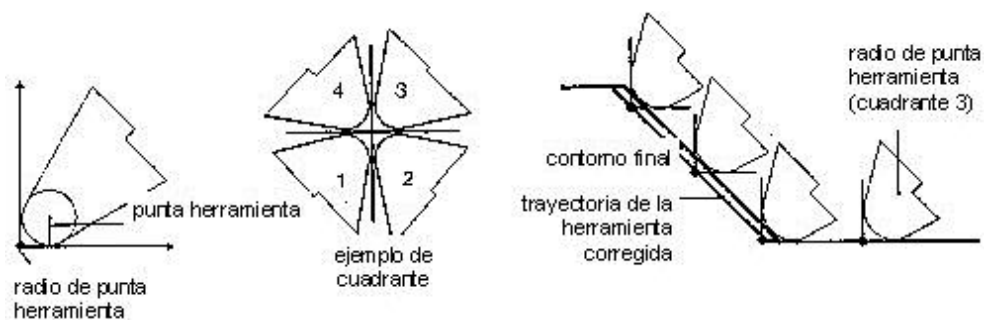


Figura 42. Punta de herramienta en torno y cuadrantes.

Las trayectorias equidistantes se obtienen mediante cálculos de puntos auxiliares. Estos cálculos determinan todos los puntos importantes que componen las trayectorias equidistantes. Tales puntos son los comienzos y finales de rectas y arcos de circunferencia así como los radios de estas últimas. La figura 3.49.b muestra los puntos auxiliares de una trayectoria equidistante. En ciertos controles, el cálculo automático de trayectorias equidistantes sólo es posible para desplazamientos paralelos auxiliares.

Cuando se activa el cálculo automático de trayectorias equidistantes (compensación de herramienta o de radio de herramienta, generalmente es necesario se satisfagan condiciones especiales para que la

herramienta se anticipe al contorno. Fíjese especialmente en las esquinas y rincones marcados. No hay trayectoria equidistante para el rincón ya que puede ser fresado completamente sin dañar el contorno. Respecto a la esquina, la trayectoria equidistante consiste en un arco de círculo alrededor de la misma. Algunos controles extienden la trayectoria hasta la intersección.

2.2.3.5.10. Dimensiones y acotaciones para CN

El departamento de ingeniería realiza los planos de las piezas. Tales planos están generalmente acotados de forma que todos los contornos están precisamente especificados en términos de geometría. Para asegurar que un plano proporciona una buena base para la programación, la acotación debe considerar un cierto número de aspectos:

- ✓ ¿Pueden convertirse fácilmente las cotas en coordenadas en consonancia con la secuencia de mecanizado?
- ✓ ¿Está la acotación completa en relación con las herramientas disponibles y las posibilidades del sistema de control?
- ✓ ¿Pueden reconocerse fácilmente los elementos del contorno?

Al realizar un plano en la fase de diseño no siempre se presta la debida atención a estos aspectos. Por tanto, es frecuentemente necesario preparar los planos de forma que sean convenientes para el Control Numérico, esto es, modificar, ante todo, las cotas para una fácil preparación del programa.

2.2.3.5.11. Coordenadas absolutas e incrementales

La introducción mencionó la acotación absoluta y relativa. Fíjese en el ejemplo del gráfico, que muestra claramente la diferencia entre los dos métodos de acotación.

La información dimensional en el plano de la pieza puede establecerse básicamente en el sistema de acotación absoluto o incremental.

Los datos en la acotación absoluta siempre hacen referencia a un punto de referencia fijo en el plano (Ver figura 43). Este punto tiene la función de ser coordenada cero. Las líneas de acotación son paralelas a los ejes coordenados y siempre comienzan en el punto de referencia. Las cotas absolutas también se llaman "cotas de referencia".

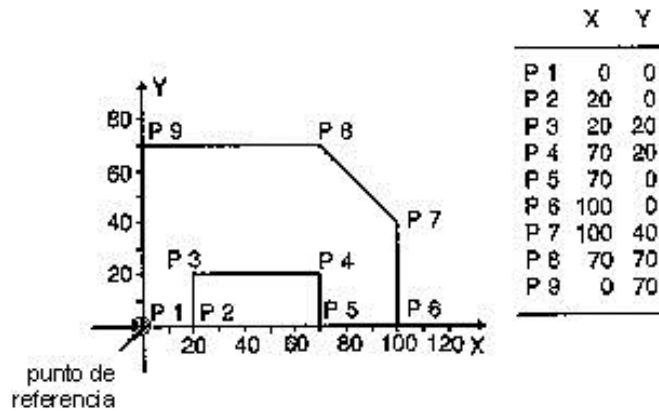


Figura 43. Coordenadas absolutas.

Al usar cotas incrementales, cada medida hace referencia a la posición anterior; las cotas incrementales son distancias entre puntos adyacentes. Estas distancias se convierten en coordenadas incrementales al tomar las coordenadas del último punto como origen de coordenadas para el siguiente punto. Se puede comparar a un pequeño sistema de coordenadas que cambia consecutivamente de un punto a

otro (P1...P2... hasta P9) (figura 44). Las cotas incrementales también se llaman "cotas relativas" o "cotas en cadena".

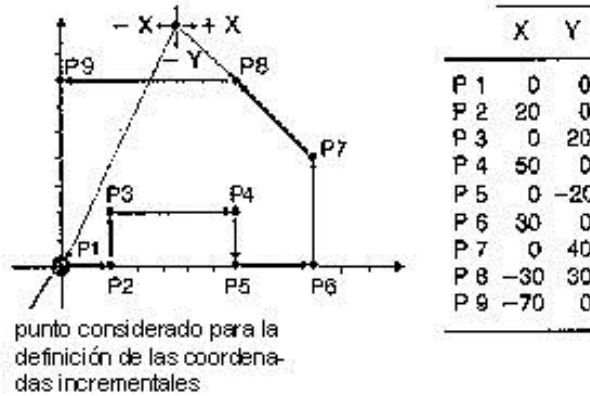


Figura 44. Coordenadas incrementales o relativas.

No siempre es necesaria la acotación de los planos exclusivamente en cotas absolutas o incrementales. La razón es que muchos controles permiten el cambio arbitrario entre dimensiones absolutas e incrementales durante la programación. La acotación incorrecta de un punto individual no afecta al resto de cotas es más fácil detectar errores en el sistema absoluto.

La programación por dimensiones incrementales es ventajosa cuando se repiten varias veces algún contorno parcial dentro de una pieza porque así se puede utilizar la sección de programa asociada al contorno parcial sin recalcular las coordenadas.

2.2.3.5.12. Elección del origen pieza

Cuando se programa el contorno de una pieza, los datos dimensionales sobre el plano se convierten en coordenadas. Compare el plano de la figura con las dos tablas de coordenadas. La primera tabla hace

referencia al punto 1 como cero pieza. Los valores de las coordenadas se corresponden con las cotas.

La segunda tabla hace referencia al punto 2 como cero pieza. Todos los valores de las coordenadas deben ser transformados (Ver Fig.45).

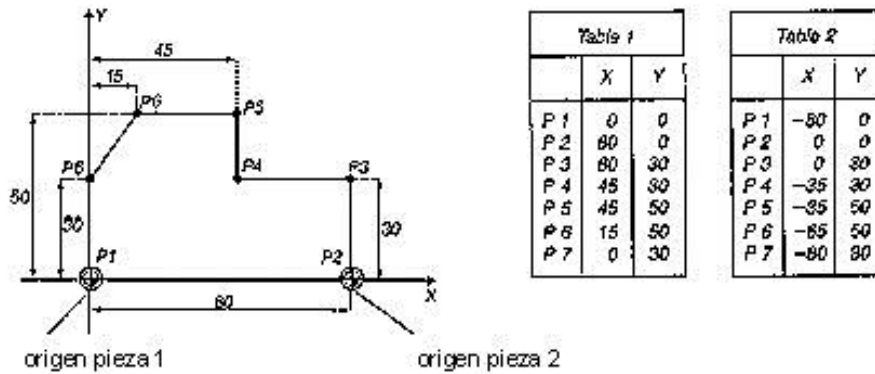


Figura 45. Ejemplo de plano pieza.

El cero pieza es el punto en el que se ubica el origen de coordenadas durante la programación. Fundamentalmente, este punto puede elegirse libremente, aunque debería, por razones prácticas, coincidir con el punto de referencia para las cotas absolutas (figura 3.58, arriba) o con el punto inicial para las cotas incrementales (figura 46, abajo).

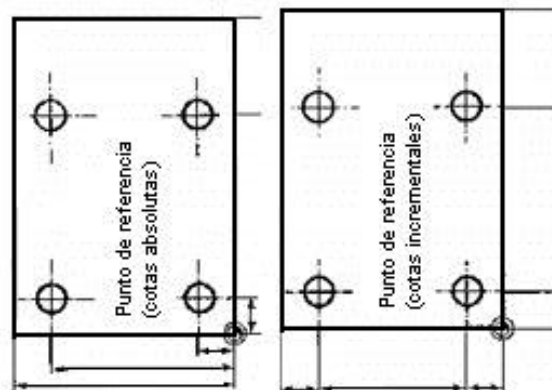


Figura 46. Origen pieza absolutas e incrementales.

El diseñador debería acotar los planos de forma que se simplificase la conversión de cotas a coordenadas. Se debería prestar especial atención a que el tipo de acotación y la elección del correspondiente cero pieza causasen la mínima necesidad de modificaciones. La conversión de cotas a coordenadas provoca frecuentemente errores de programación. En piezas simétricas la programación puede generalmente simplificarse, debido a que el control tiene funciones espejo para reproducir la geometría de la pieza.

2.2.3.5.13. Estudio de contornos

- ✓ *Contorneado de piezas torneadas:* Las piezas torneadas tienen simetría respecto su eje de revolución. Estas piezas sólo se mecanizan en una de sus caras. Por esta razón sólo se usa una de las mitades del plano de la pieza para la programación del contorno (figura 3.61, izquierda).
- ✓ *Contorneado de piezas fresadas:* Para piezas fresadas tiene que programarse el contorno completo (figura 47, derecha).

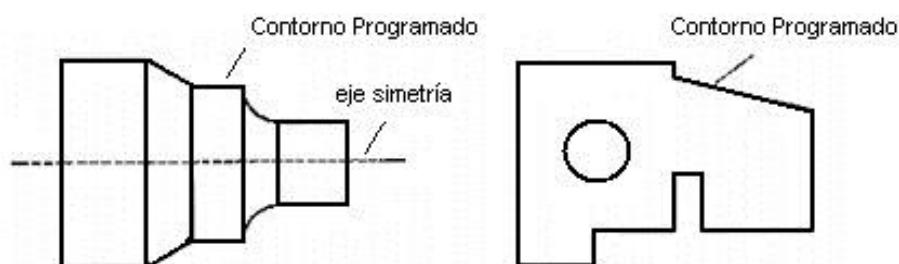


Figura 47. Ejemplos de contornos: pieza torneada y fresada.

Durante el mecanizado de una pieza, la máquina CNC puede generar ciertas trayectorias de la herramienta. En la mayoría de los casos son "lineales" y "circulares" (Ver Fig. 3.62). Estas trayectorias tienen lugar

desde la actual posición de la herramienta (punto inicial) hasta el punto final. Las trayectorias desde el punto inicial al final se obtienen mediante instrucciones de desplazamiento en el programa CN. Las instrucciones de desplazamiento individuales resultan de la subdivisión del contorno de la pieza en **elementos de contorno**. Estos elementos de contorno (rectas, arcos de circunferencia) son recorridos consecutivamente en la dirección de mecanizado programada durante la secuencia de mecanizado efectuada sobre la pieza.

Los puntos finales de los elementos de contorno se proporcionan como coordenadas de puntos finales en las instrucciones de desplazamiento. En lo que se refiere a la acotación del plano de la pieza, se concluye que las cotas deben mostrar las coordenadas de los puntos finales de todos los elementos de contorno a programar.

2.2.3.5.14. Acotación de rectas y círculos

Para programar un elemento de contorno lineal es suficiente establecer el punto final del desplazamiento. (El punto inicial es el que está ocupando la herramienta). El punto final se puede establecer en dimensiones absolutas o incrementales y en ciertos controles también mediante el establecimiento del ángulo de la recta (Ver Fig. 48).

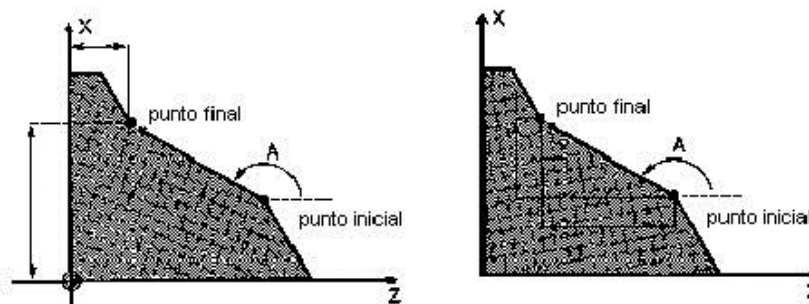


Figura 48. Puntos destino en coordenadas absolutas e incrementales.

En ambas ilustraciones el ángulo A especifica la pendiente de la recta respecto al eje Z. Si el ángulo A se establece en el programa CN, será suficiente añadir una sola coordenada en X o Z (de forma absoluta o relativa) para establecer claramente el punto final de la trayectoria

Existen dos posibilidades de programación de arcos de circunferencia:

- *Programación del radio* Además del punto final, esta opción sólo requiere la entrada del radio (figura 49, superior). El control calcula el centro de la circunferencia de forma que el arco se sitúa entre los puntos inicial y final.
- *Programación del centro de la circunferencia*: En este caso, las coordenadas del centro de la circunferencia deben establecerse además del punto final. (Generalmente como dimensión incremental relativa al punto origen, ver figura 49, inferior). El control calcula el radio.

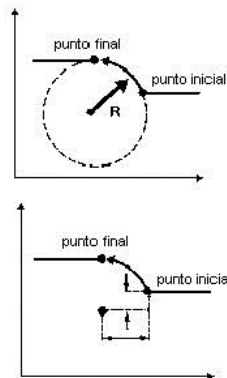


Figura 49. Programación de círculos.

Si durante la programación la magnitud del arco de circunferencia sólo se establece mediante el radio, sin dar el centro, no se tiene que olvidar que existen dos posibles soluciones con diferentes longitudes.

En la programación del radio, el control generalmente selecciona el arco de menor radio. Si debe recorrerse el arco de mayor radio, también se requerirá la programación del centro del círculo. Una descripción detallada de estas herramientas y especialmente de las fórmulas relacionadas con ellas aparece en *libros de ingeniería y tablas matemáticas*. Los restantes apartados cubren el Teorema del cociente, el Teorema de Pitágoras y las funciones trigonométricas para entender correctamente las dimensiones que aparecen en los dibujos de piezas.

2.2.3.6. Funciones preparatorias (Códigos G)

La función preparatoria también es llamada función G o código G y las operaciones que realizan se muestran en la tabla 3-2. Entre estas operaciones se encuentran la función de movimiento lineal y de interpolación circular, la de compensación de la longitud de la herramienta, compensación del diámetro de la herramienta, funciones de ciclo de maquinado, etc. La función preparatoria G va seguida de un valor numérico de dos dígitos.

Las funciones G marchadas con en la tabla, son funciones las cuales muestran la condición de sus respectivas funciones G cuando la fuente de poder es activada, o después de que la máquina es reseteada. Esta es la condición inicial de la unidad de CN. (fig. 50)

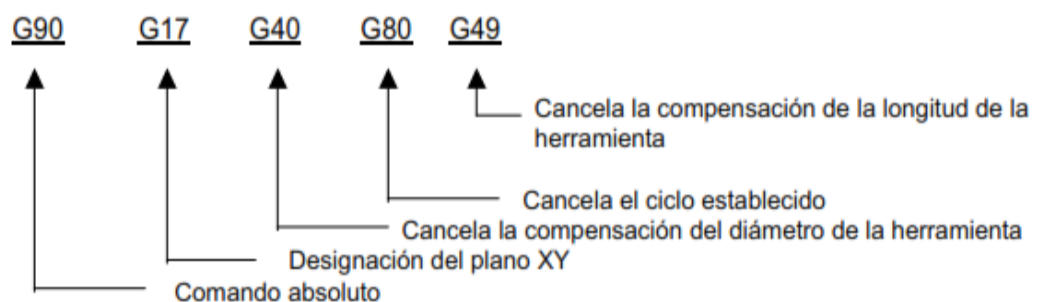


Figura 50. Establecimiento de las condiciones iniciales.

La función G puede ser clasificada dentro de los siguientes tipos de acuerdo a sus operaciones:

Función G no modal: Función G, la cual es significativa únicamente para el bloque comandado el cual se puede ver en el anexo de 01.

Función G modal: Función G, la cual permanece activa hasta que sea comandada otra función G del mismo grupo el cual se puede ver en el anexo de 01.

En el anexo 01, las funciones G en el grupo 00 no son funciones modales, mientras que las demás funciones que se encuentran en un grupo distinto si lo son. Cuando se comanda una función G modal, está función se puede omitir en los siguientes bloques, y permanecerá vigente hasta que se comande otra función G del mismo grupo.

En suma, se pueden comandar múltiples funciones G en el mismo bloque, si estas son de diferentes grupos, ahora bien, si varias funciones G del mismo grupo son comandadas en un mismo bloque, la función G que está comandada al final del bloque será la efectiva.

A continuación se explica de manera detallada las clases y semánticas de dirección de la función G, tales como: movimiento rápido de posicionamiento (G00), corte recto por interpolación lineal (G01), corte circular por interpolación circular (G02 y G03), temporizador (G04), retorno automático al origen (G28), compensación del diámetro de la herramienta (G40, G41 y G42), compensación de la posición de la herramienta (G43, G44 y G49) y la fijación de un ciclo de maquinado (G73 a G80).

Además se explica cómo realizar un programa, que maneje programa principal y subprogramas (M98 y M99), para que finalmente se den sugerencias para la elaboración de un programa, considerando además

los métodos de montaje de las piezas de trabajo, las selección de las herramientas de corte, las condiciones de corte, procedimientos de maquinado, y otros.

Los detalles de los métodos de comando para los programas varían de acuerdo con el tipo de centro de maquinado o fabricante. Además, aparte de las funciones explicadas en este texto, hay una gran variedad de funciones para las cuales es necesario recurrir al manual de instrucción de cada máquina de control numérico en particular.

2.2.3.6.1. Movimiento rápido de posicionamiento (G00)

El posicionamiento (G00) es una función, la cual permite a la herramienta un movimiento rápido de la posición actual (punto de inicio) a la posición comandada (punto final). Como se muestra en la figura 3.68, el comando de posicionamiento designa el comando de movimiento para cada eje mediante la dirección "X, Y Z" en seguida de G00 como se muestra en la Figura 51.

Posicionamiento



G00 X_____ Y_____ Z_____ ;



G00 X Y Z ; Comando de movimiento.

Figura 51. Método de comando G00.

Para el comando de movimiento, es posible comandar tres ejes al mismo tiempo, esto se muestra en la figura 52.

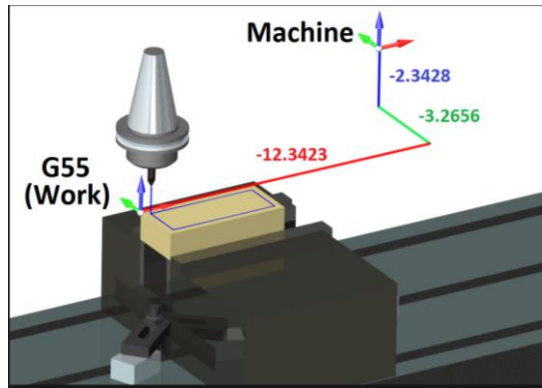


Figura 52. Comando de G00.

2.2.3.6.2. Corte correcto por interpolación lineal (G01)

La interpolación lineal (G01) es una función la cual le da a la herramienta una alimentación de corte de la posición actual a la posición comandada a lo largo de una línea recta. En la fig. 53, el comando de la interpolación lineal comanda el movimiento de cada eje en la dirección "X, Y, Z" en seguida de G01, y la velocidad de alimentación mediante la dirección "F".

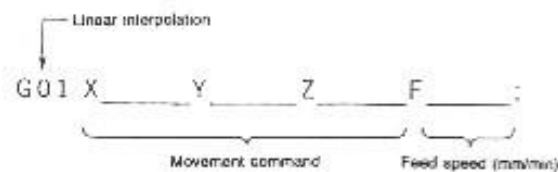


Figura 53. Método de comando de G01.

En la interpolación lineal, un corte lineal sobre una superficie paralela puede ser ejecutado mediante el comando de movimiento de un solo eje, mientras que para una superficie inclinada se ejecuta por el comando de movimiento de un solo eje, mientras que para una superficie inclinada se ejecuta por el comando de movimiento de dos ejes, como lo muestra el ejemplo del programa. Además, G01 y la función F son modales y por lo

tanto pueden ser omitidos cuando el corte lineal es continuamente comandado (a menos de que la velocidad de avance sea modificada).

El comando de movimiento simultáneo de tres ejes es comandado cuando una pieza de trabajo con una forma tridimensional es maquinada, (tal como una superficie de forma libre). Sin embargo, en operaciones ordinarias, la forma de la pieza de trabajo es maquinada por los comandos de movimiento de los dos ejes, X e Y, y el taladro es desarrollado por el comando del movimiento del eje Z.

2.2.3.6.3. Corte circular por interpolación circular (G02, G03)

La interpolación circular es una función la cual proporciona a la herramienta una alimentación de corte desde la posición actual hasta la posición comandada a lo largo de un arco circular. El corte circular en la dirección del sentido de las manecillas del reloj es mediante el comando G02, y el sentido contrario a las manecillas del reloj por el comando G03. La interpolación circular es comandada.

La interpolación circular se ejecuta en un plano establecido, por lo tanto, cuando es seleccionado el plano G17 (plano XY), el valor del comando está dado por la dirección "X, Y" e "I, J". Para G18 (plano ZX), el valor del comando se da por la dirección "X, Z" e "I, K", y para G19 (plano YZ), este valor está dado por la dirección "Y, Z" e "J, K". Para ubicar el centro del arco circular en la interpolación circular, hay dos métodos de comando; uno de ellos es aquel el cual comanda la distancia del punto inicial del arco a su centro mediante la dirección "I, J, K" (de ahora en adelante referido como comando IJK), y el otro que comanda el radio del arco circular por la dirección "R" (de ahora en adelante referido como comando R). El comando IJK y el comando R siempre están dados en un valor incremental.

Por lo tanto con el objeto de diferenciar entre la ruta A y la B, a uno de los comandos se le agrega el signo (-) al radio del arco circular en el comando R cuando el ángulo del Arco es de 180° o mayor (Ver Fig. 54). En el caso de A (ángulo de arco circular: $a \leq 180^\circ$)

(G17 G90 G54)

G0 2 X90.0 Y70.0 R40.0 F120;

En el caso de B (ángulo de arco circular: $a > 180^\circ$)

(G17 G90 G54)

G02 X90.0 Y70.0 R-40.0F120;

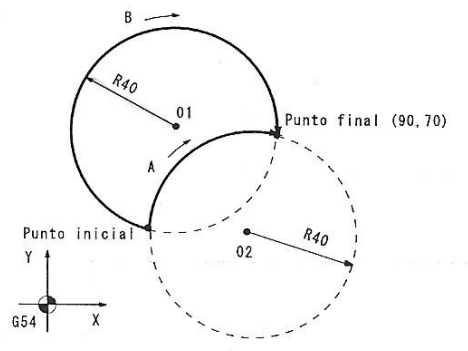


Figura 54. Ejemplo de un programa.


En una interpolación circular, cuando el valor de la coordenada del punto final es omitido, se está comandado un ciclo completo de maquinado, el cual usa la posición actual de la herramienta como el punto final.

2.2.3.6.4. Temporizador (G04)

El temporizador G04 (dwell) es una función la cual retarda la ejecución del siguiente bloque durante un tiempo especificado. Como se muestra en la figura 4-25, el temporizador comanda el retardo de tiempo (seg.) por la dirección "P (o X)" enseguida de G04. El ejemplo del programa de la fig. 55, muestra el uso del temporizador para detener temporalmente

el movimiento de las herramientas al final de los orificios para un maquinado suave de superficies durante el barrenado, careado, achaflanado, etc.

Demora Tiempo de demora (sec).

$$G04 \left\{ \begin{array}{l} X \\ P \end{array} \right\};$$


Demora Tiempo de demora (sec)

Figura 55. Método de comando de G04.

Generalmente el temporizador de tiempo a ser comandado, es la magnitud de tiempo durante el cual una herramienta hace más de un giro al final del orificio. Cuando éste comando está dado por la dirección "X", es posible introducir un punto decimal del temporizador de tiempo. Sin embargo, en general, esta aproximación no se usa frecuentemente porque es necesario distinguir si el comando pertenece a un movimiento del eje X. Si el temporizador está comandado por la dirección "P", no se puede introducir un punto decimal en dicho comando; por lo que el temporizador de tiempo es comandado después de ser convertido a 1/1000 seg. (*Ejemplo* 1 seg. Del temporizador de tiempo es P1000)

2.2.3.6.5. Retorno automático al origen (G28)

El retorno de la herramienta desde su posición actual hasta el punto de referencia de la máquina, es llamado retorno al origen. La función que puede comandar este retorno al origen en un programa es el comando G28. El retorno automático al origen comanda un punto intermedio enseguida de G28, tal como se muestra en la fig. 56. Cuando el bloque G28 es ejecutado, la herramienta retorna desde su posición actual hasta

el punto de referencia de la máquina a través del punto intermedio con movimiento rápido. Retorno automático al origen (O retorno Comando para mover al punto intermedio automático al punto de referencia.

G28 X____ Y____ Z____ ;

Figura 56. Método de comando de G28.

Para el caso del comando incremental; cuando el comando está dado con la posición actual de la herramienta como el punto intermedio, está retorna en forma directa y automática al punto de referencia de la máquina, tal como se muestra en la fig. 57.

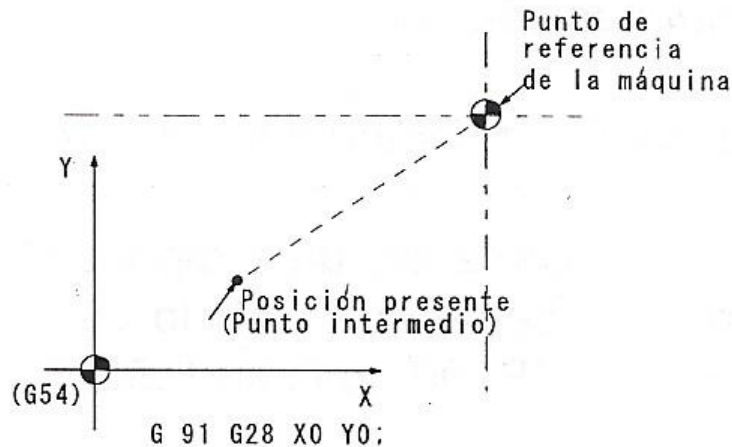


Figura 57. Comando G28 en G91.

El punto de referencia de la máquina es la posición propia de la máquina. Generalmente, el cambio de las herramientas se hace en esta posición, por lo tanto, es necesario comandar el retorno al origen de la herramienta antes de que sea comandado el cambio de ésta.

G28 es una función G de una sola actuación de una sola actuación (one-shot), incluso cuando el bloque G28 es ejecutado, o sea que la información modal previa permanece efectiva. Consecuentemente, la

compensación del diámetro y de la posición de la herramienta (son descritas en las siguientes páginas) tienen que ser canceladas antes de que G28 sea comandado. La posición propia de la máquina, la cual es ajustada por la unidad de CN es llamada punto de referencia. En general, el punto de referencia de la máquina es colocado en la misma posición que la del punto de referencia, por lo que estos dos puntos pueden ser considerados como los mismos. Por lo tanto, el retorno al origen es también llamado retorno al punto de referencia. En este texto, usaremos la palabra de retorno al origen.

2.2.3.6.6. Compensación del diámetro de la herramienta (G49, G41 y G42)

Cuando es ejecutado el maquinado de un contorno en una pieza de trabajo, la ruta de la herramienta debe ser tal que dicha herramienta sea compensada por la magnitud de su radio, como se muestra en la fig. 58. La función que logra esta compensación automáticamente es llamada compensación de diámetro de la herramienta de la herramienta. La programación que utiliza esta compensación se explica a continuación.

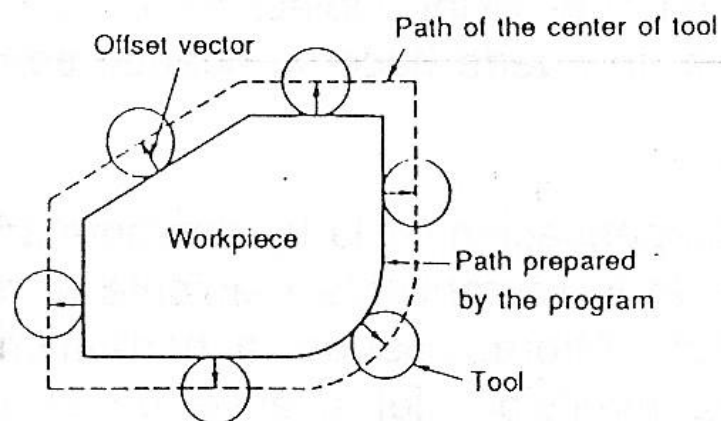


Figura 58. Compensación de la ruta de la herramienta.

A. Modo de comando

El plano en el cual la compensación de la herramienta va a ser hecha, es seleccionado mediante el comando de designación de plano (selección del plano de compensación G17, G18, G19). Para la compensación de la herramienta, el vector de compensación es calculado en el plano seleccionado (dirección y magnitud de la compensación). Esto se explica en las Figs. 59.

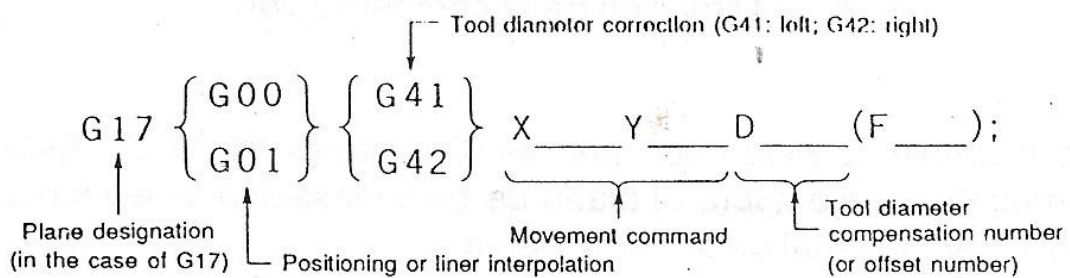


Figura 59. Método de comando de G41 y G4.

La compensación de la herramienta se hace durante el movimiento de la herramienta, en donde dicho movimiento puede ser ejecutado mediante el comando de posicionamiento (G00) o por el interpolación lineal (G01). La compensación del diámetro de la herramienta no puede hacerse cuando se comanda la interpolación circular (G02, G03).

Cuando se comanda la compensación de la herramienta a la izquierda con respecto a la dirección del avance de la herramienta mediante el comando G41 el corte es descendente [fig. 60(a)]. Ahora, cuando la herramienta es compensada a la derecha en relación a la dirección del avance de la herramienta mediante el comando G42, el corte es ascendente [fig. 60 (b)].

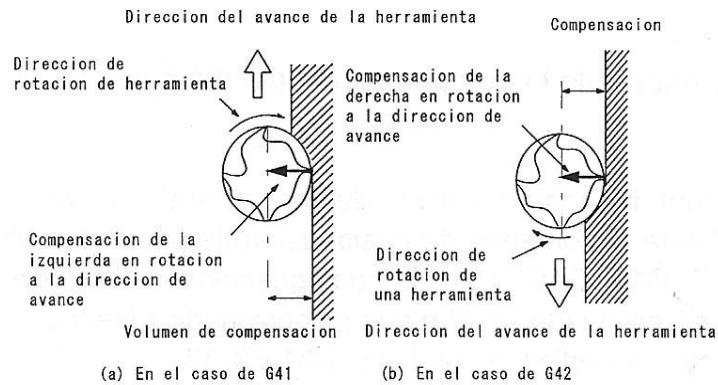


Figura 60. Dirección de la compensación.

El comando de movimiento esta dado por las direcciones "X, Y, Z". Este comando debe ser para más de un eje sobre el plano de compensación seleccionado, y debe involucrar el movimiento actual de la herramienta.

Siguiendo la dirección, "D" es el número de la compensación del diámetro de la herramienta, es comandado con un valor numérico de dos dígitos o menos (0.1 a 99, 00 corresponde a una cantidad de compensación de cero). La herramienta es compensada por la cantidad de compensación que corresponde al número de compensación comandado a continuación de la dirección "D" (la cantidad de compensación colocada en la memoria de compensación de la herramienta de la unidad de CN).

La compensación G41 y G42 es cancelada (liberada) por el comando G40 (fig. 3.85). El rango de tiempo desde que G41 o G42 son comandados hasta que G40 es comandado se llama modo de compensación. La cantidad de compensación puede ser rescrita arbitrariamente. Esto significa que cuando se utiliza la compensación del diámetro de la herramienta, la forma exacta de la pieza de trabajo puede ser programada independientemente de los tamaños de los diámetros de las herramientas (ver fig. 3.88).

B. Movimientos de la herramienta en la compensación del diámetro de la herramienta.

En la compensación del diámetro de la herramienta, los movimientos de ésta se hacen en la secuencia de los siguientes modos: cancelación, start-up, compensación y cancelación de la compensación. Esto se muestra en la fig. 61.

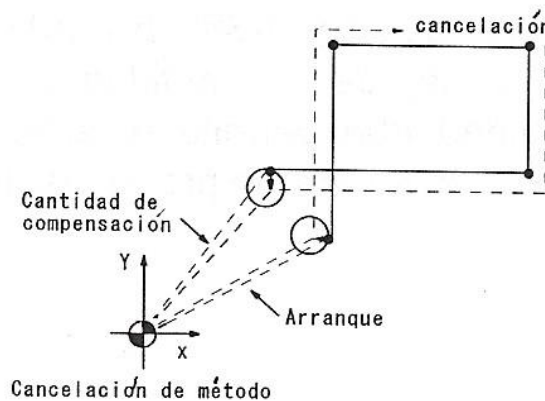


Figura 61. Movimientos de la herramienta en la compensación del diámetro de la herramienta.

C. Modo de cancelación

Después de que la fuente de poder es activada, es presionando el botón de reset el panel de control CRT y es terminado el programa mediante la ejecución de M02 y M30, la herramienta se encuentra en el modo de compensación.

En el modo de la cancelación, la magnitud del vector de compensación es siempre 0 y el centro de la herramienta coincide con la ruta programada. El programa es terminado por el modo de cancelación. Si el programa es terminado en el modo de compensación, la herramienta se detiene en la posición que corresponde a la cantidad de compensación.

2.2.3.7. Funciones misceláneas (función m o códigos m)

Las funciones misceláneas son también llamadas funciones M (en lo sucesivo serán referidas como las funciones M), y comandos de arranque/paro de la rotación del husillo principal. El control del refrigerante ON/OFF, etc. Mostrados en el anexo 02, con un valor numérico de dos dígitos siguiendo la dirección "M". Las funciones M pueden ser clasificadas dentro de los siguientes tres tipos de acuerdo a sus operaciones:

- ✓ La función M, la cual comienza a trabajar simultáneamente con el movimiento de los ejes en el bloque (W en la mesa).
- ✓ Función M, la cual comienza a trabajar después de que el movimiento de los ejes en el bloque es completado. (A la mesa). (Ejemplo) M05 la rotación del husillo principal se detiene después del movimiento de los ejes.
- ✓ La función M, la cual comanda independientemente al bloque (S en la mesa) (Ejemplo) Con la función M57, el modelo de la herramienta registrado permanece residente hasta que es cancelado por M02 o M30. Estas funciones se encuentran detalladas en el anexo 02.

2.2.3.8. Ciclos fijos

Los ciclos fijos también conocidos como ciclos prefijados, facilitan el trabajo del programador enormemente debido a que permiten definir en un solo bloque de información operaciones como: fresado taladrado, roscado, boreado, rimado, etc., que muy a menudo se presentan en el mecanizado de piezas y que en controles numéricos más antiguos o en aquellos en los que no se establecen estos ciclos, requieren la programación bloque por bloque de toda la secuencia de maquinado, teniendo como resultado programas sumamente largos. Por el contrario, los ciclos fijos sintetizan la programación, únicamente es necesario

indicarle al control numérico el tipo de ciclo que se desea y algunas variables para su ejecución.

Los ciclos fijos generalmente empleados en la mayoría de los CN modernos los cuales se observan en el anexo 4.

2.2.3.8.1. Operaciones Fundamentales en un ciclo fijo.

En general, un ciclo fijo comprende las siguientes cuatro operaciones y se pueden ver en el anexo 5:

- ✓ Posicionado en el plano.
- ✓ Avance rápido al punto R.
- ✓ Maquinado.
- ✓ Retroceso al punto inicial.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Maquinas herramientas.

Es un tipo de máquina que se utiliza para dar forma a materiales sólidos, principalmente metales. Su característica principal es la falta de movilidad, ya que suelen ser maquinas estacionarias. El moldeado de la pieza se realiza por la eliminación de una parte del material, que se puede realizar por arranque de viruta, por estampado, por corte o electrocución [10].

2.3.2. Control numérico computarizado.

El término "control numérico" se debe a que las órdenes dadas a la máquina son indicadas mediante códigos numéricos. Un conjunto de órdenes que siguen una secuencia lógica constituyen un programa de maquinado. Dándole las órdenes o instrucciones adecuadas a la máquina.

2.3.3. Fresadora.

Es una máquina herramienta utilizada para realizar mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una maquina rotativa de varios dientes de corte denominado fresa.

2.3.4. El mecanizado.

Es un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante la eliminación de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión. También en algunas zonas de América del Sur es utilizado el término maquinado aunque debido al doble sentido que puede tener este término (urdir o tramar algo) convendría usar el primero.

2.3.5. Movimiento transversal.

Según el eje Y, que corresponde al desplazamiento transversal de la mesa de trabajo. Se utiliza básicamente para posicionar la herramienta de fresar en la posición correcta.

2.3.6. Movimiento longitudinal.

Según el eje X, que corresponde habitualmente al movimiento de trabajo. Para facilitar la sujeción de las piezas, la mesa está dotada de unas ranuras en forma de T para permitir la fijación de mordazas u otros elementos de sujeción, y además puede inclinarse para el tallado de ángulos. Esta mesa puede avanzar de forma automática de acuerdo con las condiciones de corte que requiera el mecanizado.

2.3.7. Movimiento vertical.

Según el eje Z, que corresponde al desplazamiento vertical de la mesa de trabajo. Con el desplazamiento de este eje se establece la profundidad de corte del fresado.

2.3.8. La automatización industrial

(*Automatización*: del griego antiguo *auto*, 'guiado por uno mismo') es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias o procesos industriales. Como una disciplina de la ingeniería más amplia que un sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores, los transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

2.3.9. El motor pasó a paso

Es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que es capaz de avanzar una serie de grados (paso) dependiendo de sus entradas de control. El motor paso a paso se comporta de la misma manera que un conversor digital-analógico (D/A) y puede ser gobernado por impulsos procedentes de sistemas lógicos.

Este motor presenta las ventajas de tener alta precisión y repetitividad en cuanto al posicionamiento. Entre sus principales aplicaciones destacan como motor de frecuencia variable, motor de corriente continua sin escobillas, servomotores y motores controlados digitalmente.

2.3.10. El movimiento de corte

Es el que realiza la punta de la herramienta alrededor del eje del portaherramientas.

2.3.11. El movimiento de avance

Es el de aproximación de la herramienta desde la zona cortada a la zona sin cortar.

2.3.12. El movimiento de profundización o de profundidad de pasada

Es un tipo de movimiento de avance que se realiza para aumentar la profundidad del corte.

2.3.13. Giro respecto a un eje longitudinal.

Según el grado de libertad U . Se obtiene con un cabezal divisor o con una mesa oscilante.

2.3.14. Giro respecto a un eje vertical.

Según el grado de libertad W . En algunas fresadoras se puede girar la mesa 45° a cada lado; en otras, la mesa puede dar vueltas completas.

2.3.15. Dispositivos de adición de ejes.

Son accesorios que ayudan a adicionar ejes a la fresadora y estos son: Cabezal multiangular (permite orientar el eje del portaherramientas), divisor universal con contrapunto y juego de engranes y mesa circular divisora.

2.3.16. Dispositivos para sujeción de piezas.

Son accesorios que ayudan a fijar las piezas a la fresadora y estos son: Plato universal de 3 garras con contraplato; contrapunto y lunetas; mordaza giratoria graduada; mordaza hidráulica.

2.3.17. Dispositivos para sujeción de herramientas.

Son accesorios que ayudan a fijar las herramientas a la fresadora y estos son: Ejes porta-fresas largos y cortos, eje porta-pinzas y juego de pinzas.

2.3.18. Dispositivos para operaciones especiales.

Aparato de mortajar giratorio, cabezal de mandrinar.

2.3.19. Dispositivos de control.

Dispositivos de control son pequeñas instalaciones inteligentes que se componen de una entrada de un sensor, un indicador digital y una salida

de regulación. Existen dispositivos de control con indicadores digitales para la inspección y control para diferentes trabajos de medición y regulación.

2.3.20. Eje porta fresas.

Son accesorios de la fresadora que se usan para sujetar las fresas y a la vez para transmitir movimiento que recibe del husillo, se construye de acero duro aleado bien tratado y con acabados muy lisos y precisos.

2.3.21. Porta-pinzas.

Son Mandriles hechos para ser fijados directamente al husillo, cuyo alojamiento permite tomar en forma centrada las pinzas sujetándolas mediante una tuerca o un tirante.

2.3.22. Pinzas.

Es un cuerpo cilíndrico hueco, ranurado a su largo en forma parcial y con una parte cónica, lo que permite el cierre de la pinza sobre la pieza.

2.3.23. Mesa circular Giratoria.

Este dispositivo se fija sobre la mesa de la maquina horizontalmente permite orientar la pieza en ángulos medibles.

2.3.24. Programación de máquinas de CNC.

Se trata de un lenguaje de programación vectorial mediante el que se describen acciones simples y entidades geométricas sencillas (básicamente segmentos de recta y arcos de circunferencia) junto con sus parámetros de maquinado (velocidades de husillo y de avance de herramienta). El nombre **G & M** viene del hecho de que el programa está constituido por instrucciones **G**enerales y **M**isceláneas.

2.3.25. Código G.

Dirección para los comandos de preparación G comandos menudo decirle al controlar el tipo de movimiento que se quiere (por ejemplo, la colocación rápida, de alimentación lineales, alimentación circular, el ciclo fijo) o lo que compensar el valor de usar.

2.3.26. Código M.

M función de diversos Código de acción, el comando auxiliar; descripciones varían. Muchos M-códigos de llamada de funciones de la máquina, por lo que la gente suele decir que la "M" significa "máquina", aunque no fue concebido.

2.3.27. Velocidad de corte

Se define como velocidad de corte la velocidad lineal de la periferia de la fresa u otra herramienta que se utilice en el fresado. La velocidad de corte, que se expresa en metros por minuto (m/min), tiene que ser elegida antes de iniciar el mecanizado y su valor adecuado depende de

muchos factores, especialmente de la calidad y tipo de fresa que se utilice, de la dureza y la maquinabilidad que tenga el material que se mecanice y de la velocidad de avance empleada.

2.3.28. Velocidad de rotación de la herramienta

La velocidad de rotación del husillo portaherramientas se expresa habitualmente en revoluciones por minuto (rpm). En las fresadoras convencionales hay una gama limitada de velocidades, que dependen de la velocidad de giro del motor principal y del número de velocidades de la caja de cambios de la máquina. En las fresadoras de control numérico, esta velocidad es controlada con un sistema de realimentación en el que puede seleccionarse una velocidad cualquiera dentro de un rango de velocidades, hasta una velocidad máxima.

2.3.29. Velocidad de avance

El avance o velocidad de avance en el fresado es la velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir, la velocidad con la que progresa el corte. El avance y el radio de la punta de la herramienta de corte son los dos factores más importantes de los cuales depende la rugosidad de la superficie obtenida en el fresado. Cada fresa puede cortar adecuadamente en un rango de velocidades de avance por cada revolución de la herramienta, denominado avance por revolución (fn). Este rango depende fundamentalmente de número de dientes de la fresa, del tamaño de cada diente y de la profundidad de corte, además del tipo de material de la pieza y de la calidad y el tipo de plaquita de corte.

2.3.30. Profundidad de corte o de pasada.

La profundidad de corte o profundidad de pasada (p) es la profundidad de la capa arrancada de la superficie de la pieza en una pasada de la herramienta. Habitualmente se expresa en milímetros (mm). La anchura de corte (s), expresado en mm, es la anchura de la parte de la pieza implicada en el corte. Estos parámetros hay que tenerlos en cuenta por la influencia que tiene en el cálculo de la sección de viruta y consecuentemente en la fuerza de corte necesaria para poder realizar el mecanizado.

2.3.31. Espesor y sección de viruta

La relación que existe entre el avance por diente de la fresa (f_z) y la profundidad de pasada (p) constituye la sección de la viruta. La sección de viruta guarda también relación con el tipo de fresado que se realice, la sección de viruta. El espesor de la viruta corresponde al avance por diente de la fresa. Cuanto menor sea el espesor de la viruta en el momento del arranque, la carga del filo será menor y esto permitirá aplicar mayores velocidades de avance por diente sin dañar al mismo, teniendo que reducir la profundidad de corte debido a los menores ángulos de posicionamiento de los filos.

2.3.32. Volumen de viruta arrancado

En el fresado tangencial, el volumen de viruta arrancado por minuto se expresa centímetros cúbicos por minuto y se obtiene de la siguiente fórmula:

2.3.33. Tiempo de mecanizado

Para poder calcular el tiempo de mecanizado en una fresadora hay que tener en cuenta la longitud de aproximación y salida de la fresa de la pieza que se mecaniza. Esta longitud depende del tipo de fresado. Por ejemplo, en el planeado la longitud de aproximación coincide con la mitad del diámetro de la herramienta; en el fresado de ranuras es diferente y depende la profundidad de la ranura y del diámetro de la fresa; y en el fresado por contorneado interior o exterior las longitudes de mecanizado dependen del diámetro de la fresa y de la geometría de la superficie contorneada.

2.3.34. Fuerza específica de corte

La fuerza de corte es un parámetro a tener en cuenta para evitar roturas y deformaciones en la herramienta y en la pieza y para poder calcular la potencia necesaria para efectuar un determinado mecanizado. Este parámetro está en función del avance de fresado, de la velocidad de corte, de la maquinabilidad del material, de la dureza del material, de las características de la herramienta y del espesor medio de la viruta. Todos estos factores se engloban en un coeficiente denominado fuerza específica de corte (k_c), que se expresa en N/mm^2 .

2.3.35. Potencia de corte

La potencia de corte (P_c) necesaria para efectuar un determinado mecanizado habitualmente se expresa en kilovatios (kW) y se calcula a partir del valor del volumen de arranque de viruta, la fuerza específica de corte y del rendimiento que tenga la fresadora. Esta fuerza específica de corte (k_c) es una constante que se determina en función del tipo de

material que se está mecanizando, la geometría de la herramienta, el espesor de viruta, etc.

Para poder obtener el valor de potencia correcto, el valor obtenido tiene que dividirse por un determinado valor adimensional que tiene en cuenta el rendimiento de la máquina (ρ). Este valor es la relación entre la potencia de corte efectiva, es decir, la potencia necesaria en la herramienta; respecto a la potencia consumida el motor de accionamiento principal de la máquina.

CAPITULO III

DESARROLLO DE LA METODOLOGIA

3.1 Descripción y análisis del proyecto.

Se pretende con el proyecto, desarrollar un automatismo que se implemente a nivel empresarial y que sea de fácil operación sin la necesidad de ser operado por personal altamente calificado y que permita a la vez mejorar y optimizar los niveles de productividad teniendo como objeto principal lograr este desarrollo a un bajo costo.

Las personas que interfieren en la investigación de este proyecto son los técnicos operarios de las máquinas de mecanizado, las personas con conocimientos en lenguajes NC, las personas que conocen el proceso de diseño de los moldes manualmente, los docentes universitarios con conocimientos de nuestro proyecto, la empresa que financia el proyecto.

3.1.1. Obtención y análisis de información

Para entender mejor el problema, en primer Lugar se visitó la empresa en varias oportunidades y se conoció los diversos materiales que los operadores de Megasac mecanizan con ayuda de fresadoras manuales. Se vio en acción a los operadores mecanizando los materiales para conocer las complicaciones surgidas de este proceso manual y las piezas que ellos deben mecanizar.

Se entrevistó a dos operadores para conocer sus opiniones del proceso manual y conocer cuáles son los mayores problemas para ellos al mecanizar los materiales.

Además se entrevistó a uno de los encargados de producción de Megasac, para que explicara en detalle el proceso de fresado de materiales, los problemas que surgen de este proceso y lo que espera la empresa de la realización de este proyecto. Para definir las metas y restricciones de la solución de este problema se hizo un análisis del proyecto, sus implicaciones, el contexto en el que está inmerso. Se analizó los requerimientos de la empresa en cuanto a robustez y flexibilidad de la solución y del presupuesto que se asignó al proyecto.

El estado de la cuestión se obtuvo haciendo una investigación exhaustiva en Internet principalmente. El problema planteado no es nuevo y por el contrario existen varios fabricantes de máquinas con características muy similares a la que se desarrolló. Sin embargo y como ya se mencionó, su precio es muy elevado y su tecnología protegida. Se encontraron proyectos de control numérico como fresadoras y máquinas de posicionamiento X-Y pero a nivel de planteamiento, por lo que no se pudo obtener mucha información útil de las soluciones empleadas. Sin embargo, de aquí se obtuvo la idea para el diseño de la mesa y para la conversión del movimiento rotacional a lineal. Además, de la investigación se obtuvieron las dos opciones de motores que se utilizan industrialmente para este tipo de máquinas: los motores paso (steppers) y los motores servo sin escobillas (brushless) de corriente alterna (CA).

También se realizó una investigación de los diversos Software de Diseño y Fabricación Asistida por Computador (CAD/CAM): El software de diseño que maneja la empresa es el AutoCAD, pero más no maneja software de fabricación asistida por computador y es por esta razón que se buscó un software de bajo costo.

Aunque los componentes para la automatización son un poco costosos a nivel local, se compraron aprovechando que se cuenta con el apoyo económico de la empresa MEGASAC. La cual requiere de este proyecto.

3.1.2. Parámetros para la implementación

Para la implementación de la automatización del control CNC se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros y requisitos de la fresadora:

- ✓ **Marca:** Gorton P2-3
- ✓ **Rango de operación** es de 1300 a 13000 RPM.
- ✓ La mesa de trabajo tiene las siguientes dimensiones de operación.
- ✓ **Área de Trabajo:** 34" x 9"
- ✓ **Dimensiones:** 73" x 71" x 54"
- ✓ La máquina trabaja con fuente de voltaje de 220V.
- ✓ La forma del movimiento de la máquina es: (ver figura 62).

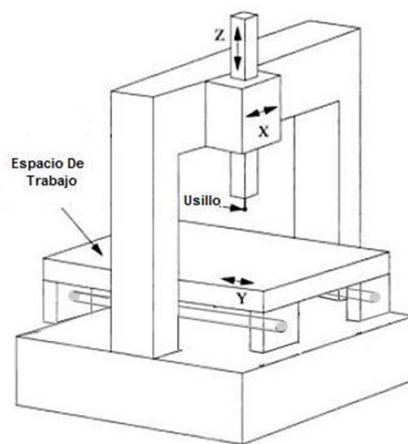


Figura 62. Forma del movimiento de los ejes de la máquina.

- ✓ Se definió una precisión de 0.3 mm. en la resolución del mecanizado ya que se requiere una tolerancia de 0.5 mm.
- ✓ El avance del tornillo del mecanismo es de 5 mm/vuelta.
- ✓ La máquina va a trabajar 20 ciclos por hora, 8 horas diarias 250 días al año.
- ✓ Capacidad de mecanizar materiales como polímeros pasticos, madera, cera y aluminio.
- ✓ Con base a estos materiales se requiere de una velocidad lineal de avance máximo de 1250 mm/min de acuerdo a los estándares

implementados en las máquinas de fresado del Sena Metalmecánico.

- ✓ Peso permitido para el área de trabajo 25Kg

Puntos de referencia:

- ✓ Punto cero de la Pieza: es el punto donde se desea comenzar la mecanización de la pieza.
- ✓ Punto cero de la máquina: es el punto de referencia de la máquina para que entienda que llegó a los límites de cada eje.
- ✓ Material a mecanizar: Los materiales comúnmente utilizados para la elaboración de los moldes son materiales relativamente blandos, por lo que se escogieron dos tipos de materiales en especial que fueron el aluminio y el plástico para su posterior mecanizado.

3.1.3. Cálculos Electromecánicos

Calculo de fuerza de corte y momento torsor del fresado

Calculo de las fuerzas de corte para aleaciones de aluminio.

Vc: 98 m/min (Según tabla N° 1)

D: Diámetro de fresa (10mm).

Z: Numero de dientes de fresa (4 dientes).

$$n = \frac{2 \cdot Vc}{D} = \frac{2 \cdot 98 \left(\frac{m}{min}\right)}{10mm} \cdot \frac{1000mm}{1m} \cdot \frac{1rev}{2\pi} = 3119.44 \text{ rpm}$$

$$z \cdot a \left(\frac{mm}{vuelta}\right) \cdot n \left(\frac{vueltas}{min}\right) = Va \left(\frac{mm}{min}\right)$$

$$4 \cdot 0.2 \left(\frac{mm}{diente}\right) \cdot 3119.4 \left(\frac{vueltas}{min}\right) = Va \left(\frac{mm}{min}\right) = 2495 \text{ mm/min}$$

$$F = k_s \cdot b \cdot e = 450 \left(\frac{kg}{mm^2} \right) * 10mm * 1mm = 4500 \text{ kg f}$$

$$T_r = F \cdot v_a = k_s \cdot v_a = 4500kg * 2.495 \left(\frac{m}{min} \right) = 11227.5 \left(\frac{kg \cdot m}{min} \right) = 187.13 \text{ W}$$

$$v = \omega \cdot r = 3119.44 * 5 * \frac{1}{1000} * \frac{2\pi}{1rev} = 97,99 \text{ m/min}$$

$$P = \frac{k_s b \cdot e \cdot v_a}{v} = \frac{450 * 10 * 1 * 2.495}{97,99} = 114 \text{ kgf} * 9.81 = 1124 \text{ N}$$

$$M_r = P \cdot r = 1124 \text{ N} * 0.005 \text{ m} = 5,6 \text{ Nm}$$

P: Fuerza tangencial o fuerza de corte.

S: Fuerza radial.

Si la fresa de la figura realiza el corte del material, siendo d (mm) el diámetro de la fresa, a (mm) el avance por diente de la fresa, b (mm) el ancho del corte, e (mm) espesor o profundidad de corte, y además la velocidad de avance v_a (mm/min) de la mesa porta pieza, lo que se puede toma como un movimiento relativo de la fresa, v (m/min) la velocidad de corte de la fresa, n (rpm) el número de vueltas por minuto de la fresa y z el número de dientes de la fresa, se obtiene que el volumen Vol (mm^3/min) del metal cortado por un diente estará dado por

la expresión:

Cálculos para hallar torque eje X y eje Y

Cálculos del par motor en sistema lineal.

F_c : La fuerza F_c necesaria para mover la carga entre patín y guía (resistencia a la rodadura).

F : La fuerza de trabajo necesaria para accionar la herramienta de corte.

μ : Coeficiente de fricción de máquinas herramientas.

M : Peso de mesa más el material a maquinar ($P_{mat.} = 50 \text{ kg}$).

$$F_c = F + \mu * M = 1124 N + 0.001 * 194.56kg * 9.81 = 1125.9 N$$

Calculo de torque necesaria de la carga.

$$T_c = F_c * \frac{P}{2 * \pi * n} = 1125.9 N * \frac{0.003175}{2 * \pi * 0.28} = 2.03 N.m$$

A la masa que se encontró se le sumara 25 Kg que es la masa promedio de una prensa de sujeción y 25 Kg que es la masa del material a maquinar. Por lo tanto la masa total será de 194.56 Kg.

$$W = m * g = 194.56kg * \frac{9.81m}{s^2} = 1908.63N$$

M: masa de la mesa o bancada es de 144.56 Kg.

La fresadora convencional tiene como una de sus partes principales un husillo de trabajo el cual le sirve de soporte a la herramienta y la dota de movimiento al producir el desplazamiento lineal de los diferentes carros, al realizar la automatización de la fresadora este husillo se debe cambiarse por un husillo de bolas el cual es un husillo de avance sumamente eficiente en el que la bola realiza un movimiento basculante entre el eje del husillo y la tuerca, con un par de torsión inferior en una tercera parte o menos al de un husillo deslizante convencional, este producto resulta muy adecuado para ahorrar energía de accionamiento

Velocidad del Motor. Para los maquinados que se realizan en la fresadora se determinó una velocidad de:

$$v = 10 m/min$$

Del husillo de bolas seleccionado obtenemos el paso que es de:

$$p = 0.005m \rightarrow p = 200 rev/m$$

$$velocidad de motor (S_m) = v * p = 10 m/min * 200 rev/m = 2000rpm$$

Torque de Fricción

$$coeficiente de friccion(\mu) = 0.001$$

$$Carga total (w) = 1908.63N Precarga(F_p) = 1516.63 N$$

paso (p) = 200 rev/m Eficiencia (e) = 90%

$$T_f = \frac{\mu * W * \cos \theta}{2\pi * p * e} + \frac{F_p * 0.2}{2\pi * p}$$

$$T_f = \frac{0.08 * 1908.63N * \cos 0}{2\pi * 200 rev/m * 0.90} + \frac{1516.63 * 0.2}{2\pi * 200 rev/m} = 0.243 N * m$$

Par de carga reflejado en el Servomotor.

$$T = \frac{F_p}{2\pi * p * e} \rightarrow T = \frac{1516.63N}{2\pi * 200 rev/m * 0.90} = 1.34 N * m$$

Calculo de la inercia reflejada de la carga.

$$J_1 = \frac{w}{g} * \left(\frac{1}{2\pi * p}\right)^2$$

$$J_1 = \frac{194.56N}{9.81 m/s^2} * \left(\frac{1}{2\pi * 200 rev/m}\right)^2 = 0.0000126 Kg.m.s^2$$

Calculo de la inercia del tornillo.

$$J_{1s} = \left(\frac{1}{2}\right) * \left(\frac{\pi * L * \rho * r^4}{g}\right)$$

$$J_{1s} = \left(\frac{1}{2}\right) * \left(\frac{\pi * 1m * 7.8 * 10^3 kg/m^3 * (0.008m)^4}{9.81 m/s^2}\right) = 0.0000051 Kg.m.s^2$$

Inercia total

$$J = J_s + J_{1s} = 1.26 \times 10^{-5} Kg.m.s^2 + 0.51 \times 10^{-5} Kg.m.s^2 = 1.77 \times 10^{-5} Kg.m.s^2$$

Calculo de la tasa de aceleración.

$$Tasa\ de\ aceleracion = \frac{S_m}{tiempo\ de\ aceleracion}$$

$$Tasa\ de\ velocidad(rad/s) = \frac{S_m}{9.55\ seg} = \frac{100}{9.55} = 10.47 rad/s$$

$$Tasa\ de\ aceleracion(rad/s^2) = \frac{10.47 rad/s}{1.6\ seg} = 6.54 rad/s^2$$

Calculo Torque.

$$T_{acc} = (J * \text{Tasa de aceleracion}) + T_f$$

$$T_{acc} = (J * 6.54 \text{ rad/s}^2) + 0.243 \text{ Nm} = 1.16 \times 10^{-4} \times 9.81 + 0.243 \text{ N.m}$$

$$T_{acc} = 1.14 \times 10^{-3} \text{ N.m} + 0.243 \text{ N.m} = 0.244 \text{ N.m}$$

Calculo de la carga en el eje Z. Estimamos el peso de la porta herramientas el cual tiene forma cilíndrica y está hecho de fundición gris.

Calculo del volumen Porta Herramientas.

$$\text{volumen} = \pi * r^2 * h = \pi * 0.05^2 * 0.4 = 0.003141 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidad de material} = 7150 \text{ kg/m}^3 \text{ (Fundición gris)}$$

$$m = \rho * v = 7150 \text{ kg/m}^3 * 0.003141 \text{ m}^3 = 22.5 \text{ kg}$$

$$w = m * g = 22.5 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 = 220.73 \text{ N}$$

Calculo del momento de inercia porta herramientas.

$$I = \frac{m * r^2}{2} = \frac{22.5 \text{ kg} * (0.05 \text{ m})^2}{2} = 0.028 \text{ kg.m}^2$$

Velocidad lineal porta herramientas.

$$v = 1.66 \text{ m/s}$$

Velocidad angular porta herramientas.

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{1.66 \text{ m/s}}{0.05} = 33.2 \text{ rad/s}$$

Aceleración angular porta herramientas.

$$\alpha = \frac{\omega}{1 \text{ s}} = \frac{33.2 \text{ rad/s}}{1 \text{ s}} = 33.2 \text{ rad/s}^2$$

Calculo del torque.

$$T_0 = I * \alpha = 0.0281 \text{ kg.m}^2 * 33.2 \text{ rad/s}^2 = 0.933 \text{ N.m}$$

El torque que se hayo se multiplica por 1.7 que es un buen factor de servicio en máquinas herramientas.

$$T_{acc} = 1.7 * 0.933N.m = 1.58N.m$$

3.2. Implementación e integración de la solución

Para implementar una solución, se siguieron los siguientes pasos:

1.- En primer lugar para automatizar la fresadora se estudió el problema a fondo para entender verdaderamente los alcances del problema y las implicancias que tiene en la empresa, específicamente de tiempo y de costo.

2.- En segundo lugar una vez desarrollado los cálculos electromecánicos se solicitó los requerimientos con las características técnicas especificadas después del cálculo realizado anteriormente para la implementación de la solución y los requerimientos son los siguientes:

Listado de Materiales.

3	3MotorVRDM 3910/50 LHB
3	3Stepper Driver de Psd6058-3p Board/ controlador para motor p/motor de paso
1	Interface de puerto paralelo Jtron mod. 03100504
1	Computadora
1	Licencia de Software de CN (mach 3)
1	Licencia de Software de sectorización (LacyCam)
1	Panel de Control y sistemas de protección
1	Fuente de poder 350W-60V
3	Fabricación de Bridas de Unión
3	Acoples mecánicos de aluminio
2	Porta Fresas
6	Fresas
1	Prensa porta piezas

3.- En tercer lugar se implementó la etapa de control fue el siguiente paso una vez escogidos los motores, esto se realizó mediante la implementación de un tablero control el cual consta de sistemas de

protección eléctrico, fuente de alimentación de potencia 50 VDC, fuente de alimentación de control de 5 VDC, Pulsadores marcha y parada y el sistema de control de movimientos motores (ver figura 63). Se manejaban varias opciones entre las cuales están: control por medio de un microcontrolador, control por medio de una tarjeta de adquisición de datos y control por medio de un controlador de movimiento. El control por medio de un microcontrolador fue descartado principalmente porque los motores al tener la opción de microstepping necesitan un flujo de información grande el cual el microcontrolador no garantiza poder manejar. Además, uno de los requerimientos de la empresa es la solución tuviera robustez.

Al investigar se encontró un controlador específico para aplicaciones de movimiento especial para paso a paso y que provee un mejor desempeño que una tarjeta de adquisición. El controlador de movimiento seleccionado es el Jtronmod. 03100504, fue seleccionado, entre muchas otras cosas, por ser de fácil configuración en alto nivel, que es una forma estructurada para aplicaciones de control de movimiento de motores paso a paso. Posee entradas y salidas digitales, control de hasta 4 motores pasó a paso, movimientos punto a punto y comunicación por medio de puerto paralelo. Esto lo hace extremadamente robusto, versátil y fácil de adaptar para la aplicación actual.

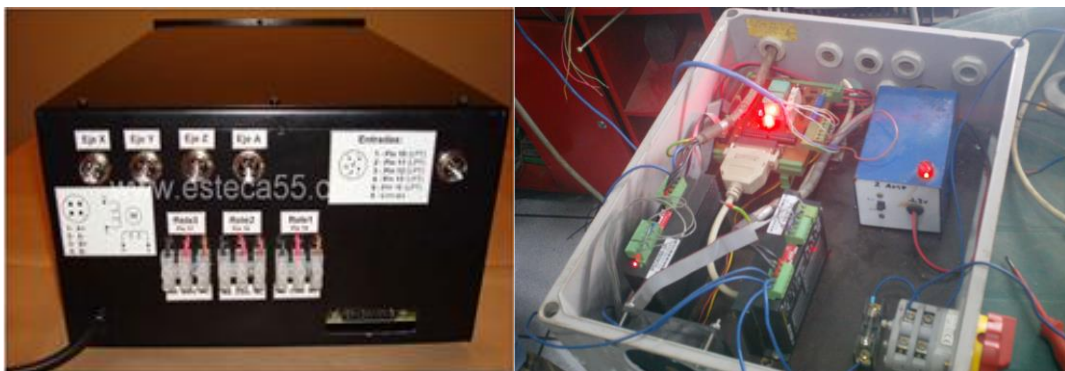


Figura 63. Implementación de tablero de control.

4.- En cuarto lugar una vez terminada las correcciones del equipo se procedió a la revisión del equipo electrónico y cada uno de sus componentes.

Se verifico que el computador sea de las especificaciones del programa que se va a utilizar como se observa en la tabla 2.

Características	Mach3 Mill	Pc instalada
Procesador	1 Ghz	1.8 Ghz
Ram	256 Mb	512 Mb
Disco Duro	512 Mb	20 Gb
Bus de Datos	667 Mhz	1333 Mhz

Tabla 2. Especificaciones del computador.

Comparadas las características de la PC instalada con respecto al programa CAD/CAM se encuentra sobredimensionado, se puede asegurar que son compatibles, más aún la PC solo será utilizada con el fin de trabajar con la fresadora convertida.

Se revisó la conexión entre el computador y el tablero de control, se inspeccionó que tenga salida de datos del puerto paralelo del ordenador y que esté funcionando correctamente, para eso se utilizó un voltímetro, se colocó un extremo en una de las salida del puerto paralelo, en este caso se probó en cada uno de los 25 pines del puerto, y el otro extremo en la carcasa del computador, se analizó detalladamente que cada pin reciba 3V por cada orden que se le enviara para realizar el funcionamiento de cada eje, todos los 25 pines del puerto paralelo sirven adecuadamente. Una vez probado que funciona el puerto, se continuó con la inspección del equipo, la otra parte fue la revisión completa del tablero de control, se empezó con el BreakoutBoard y de igual manera como se comprobó que el puerto paralelo funcionó, se probó el funcionamiento de la tarjeta, primero se observó que la tarjeta esté

energizada, esto se observó si se prendió el foco que se encuentra en la tarjeta, una vez prendido se procedió a revisar cada una de las salidas de la tarjeta, pero para fines prácticos solo se revisaron las 6 salidas que se iban a utilizar los cuales fueron: P2,P3,P4,P5,P6 y P7, los cuales no tenían ningún problema al recibir las órdenes del computador.

5.- En quinto lugar se realiza la Configuración de software de control numérico Mach3. El software utilizado para el manejo y calibración de la máquina es el Mach3, este programa permite trabajar con el código G, su modo de utilización es muy sencillo, este va calibrando el programa paso a paso. El software puede comunicarse con el controlador con una interfaz de comunicación que posteriormente se creó. El software actúa como un intérprete de comandos. Mach 3 importa archivos en formato DXF o Código-G convirtiendo estos archivos directamente en movimiento.

Como se ve en la figura 64. Se puede apreciar la pantalla inicial del programa, una vez abierto el programa dar click en Config y seleccionar la opción Ports and Pins.

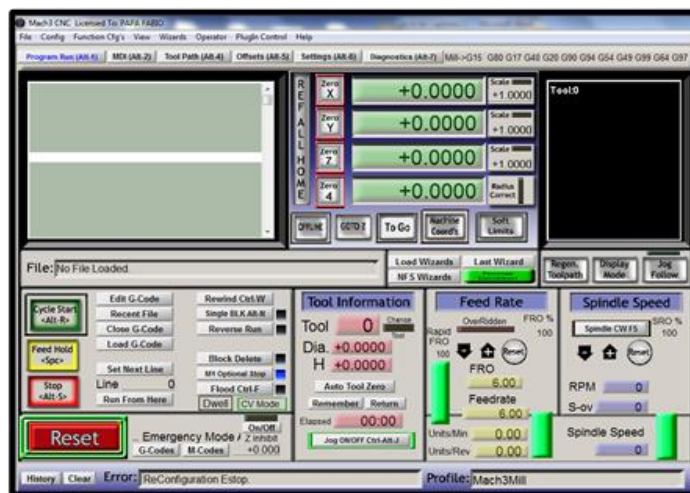


Figura 64. Pantalla de inicio de mach3.

Aparecerá un cuadro que nos pide elegir un puerto para trabajar y por defecto se elige la primera opción ver figura 65.

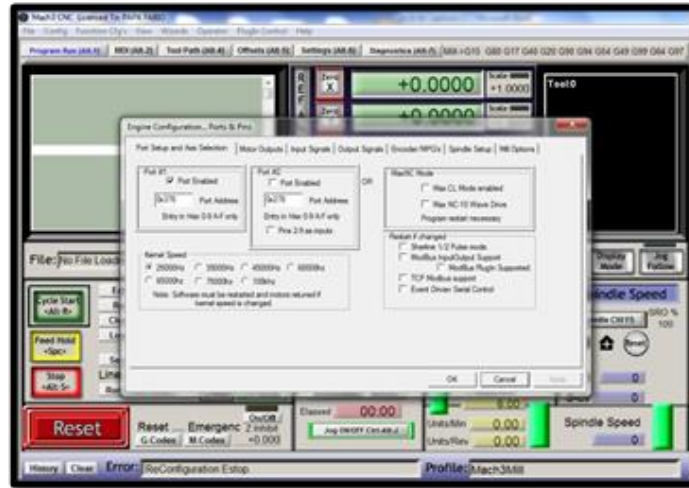


Figura 65. Configuración de puertos y pines.

Después del clic en salida para motores y se configuran los pines según se vio en la tabla 3 de interfaces ver figura 66.



Figura 66. Configuración de los pines para la interfaz.

Con esto se termina de enlazar los motores con el computador, para realizar las pruebas de funcionamiento se usa la pantalla MDI para trabajar desplazando la mesa de manera automática sin precisión.

Para finalizar se procede a sincronizar los motores con el programa para que roten y desplazan la mesa con la misma precisión que con las manivelas.

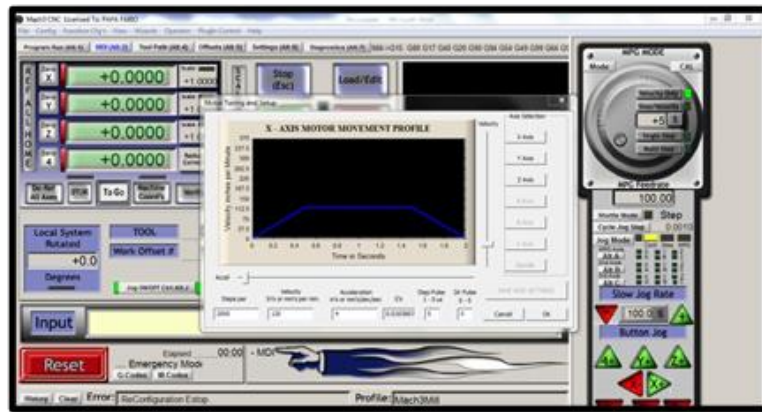


Figura 67. Parámetros de los motores de paso.

- ✓ Para esto se efectúan los siguientes cálculos. El motor se desplaza $1,8^\circ$ por cada paso.
- ✓ Si en una revolución 360° cuantos pasos son necesarias para una vuelta.
- ✓ 200 pasos por revolución o lo que es igual a $360^\circ / 1,8^\circ$ Si cada paso tiene 16 micro pasos.
- ✓ 3200 medida eficaz por revolución = 16 micro pasos * 200 pasos por revolución.
- ✓ Si en una revolución la mesa se desplaza 5mm
- ✓ $533,33$ pasos por $\text{mm} = 3200$ pasos / 5mm

Este es el valor necesario para desplazar el eje X y el eje Y en una vuelta con precisión, con estos valores se entra al programa y los coloca, $533,33$ pasos/ mm a 200 mm/min con una aceleración de $2\text{mm}^2/\text{s}$.

6.- Después se revisó el controlador de los motores y los motores uno por uno, se conectó cada uno de los motores con su respectivo controlador y cada controlador con su respectiva salida del BreakoutBoard, P2 y P3 para el motor que controlara el eje X, P4 y P5

para el motor que controla el eje Y por último P6 y P7 para el motor que controla el eje Z.

Las pruebas consistían en hacer funcionar el motor de cada uno de los ejes de tal manera que cada uno de sus giros represente un desplazamiento determinado en la pantalla, para los ejes X Y, cada giro completo del motor representaba 6mm del desplazamiento de la mesa de trabajo, esto se observa en el panel que nos muestra el programa, ver figura 68.

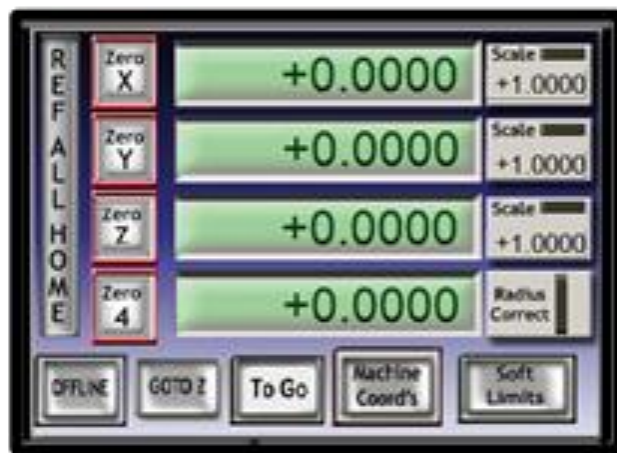


FIGURA 68. PANEL DE POSICIONAMIENTO

Se llevaron a cabo las pruebas, mostrando que cada giro completo del motor cumplía exactamente 6mm una vez hechas la pruebas en los motores X Y también se llevaron las pruebas en el motor del eje Z, mostrando igual precisión que con los motores anteriores.

Una vez probado los motores en vacío, se procedió a colocar los motores en la fresadora con los acoples previamente diseñados, una vez colocados se repitieron las pruebas que se realizaron en vacío, dando buenos resultados en los 3 ejes.

7.- Se realizó el acoplamiento mecánico de los ejes de la fresadora con los ejes de cada motor de paso mediante acoples mecánicos, para realizar este proceso se retiró las volantes manuales de cada eje de la

fresadora, también se realizó el montaje de las bridas que sirven como soporte de los motores de paso a la máquina, se limitó el área de trabajo mediante el montaje de fines en los dos extremos de cada carro de la máquina y por último se colocó distanciadores entre el motor y la brida como se muestra en la figura 69.



Figura 69. Montaje de motores en cada eje de la fresadora.

En paralelo se realizó un mantenimiento general de la máquina se lubricó todos los elementos de la mesa de trabajo y de sus mecanismos de transmisión, se ajustaron todos los elementos mecánicos y una vez acabado en el mantenimiento correctivo, se volvió a realizar otro chequeo de funcionamiento, el cual dio buenos resultados, puesto que la mesa de trabajo se desliza sin mucho esfuerzo y la fuga disminuyó de manera considerable, aunque la máquina tenga una pequeña fuga se puede corregir este defecto utilizando el programa de la máquina.

Por último se culmina la revisión completa de la máquina a operar y de todos sus componentes tanto mecánico como electrónico, se hicieron las pruebas de mecanizado del equipo.

Para esto se procedió al mecanizado de piezas con formas básicas, círculos, cuadrados y triángulo para observar si existe alguna variación al momento de maquinar, utilizando estas formas se calibró la

herramienta para evitar cualquier tipo de error, se eligieron estas formas básicas para determinar si la máquina puede desplazar la mesa con gran precisión en el eje X y en el eje Y.

3.3. Toma de data y resultados de la implementación

Prueba No. 1

Mecanización de probeta de laboratorio cuya longitud calibrada de prueba es de 50mm

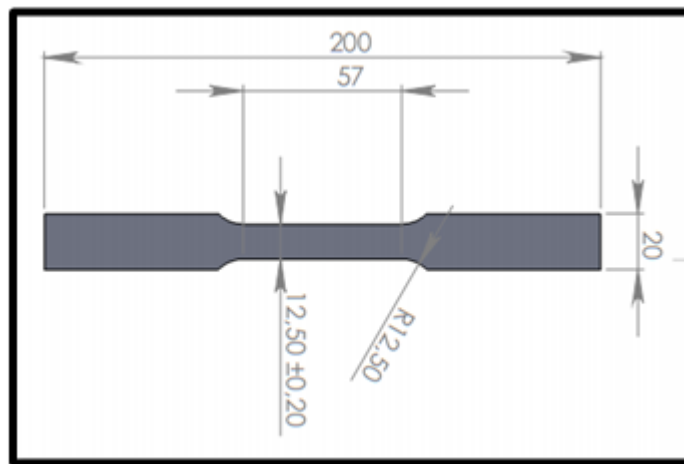


Figura 70. Probeta de longitud calibrada 50.

La probeta requiere un material base de longitud mínima de 200mm, en estas pruebas se las realiza en un material de fácil manipulación, para evitar que cualquier herramienta se destruya durante las pruebas, se usa una placa de plástico. Tomando en cuenta el tipo de material se establecen las velocidades de corte, como es plástico se escoge un fresadora de acero rápido el cual no tiene problemas al maquinar este material.

La fresadora escogida es una fresa de 6mm de diámetro que posee las siguientes velocidades de operación:

- ✓ Velocidad de corte: 20mm/min
- ✓ Velocidad de avance: 400 mm/s
- ✓ Profundidad de corte: 5mm

Con estas velocidades se trabajó tanto para la fresadora convencional como para las CNC, las cuales pueden ser ingresadas en el código G que se va a generar, con el inventor CAM o manual mente, y con la compensación de la herramienta que para este caso es de 3mm.

Para chequear que el código está bien escrito se utilizara el simulador que se encuentra en el mismo programa, donde se puede observar el recorrido de la herramienta ver figura 71., en otros tipos de simuladores se puede incluso observar cómo quedaría el material una vez mecanizado.

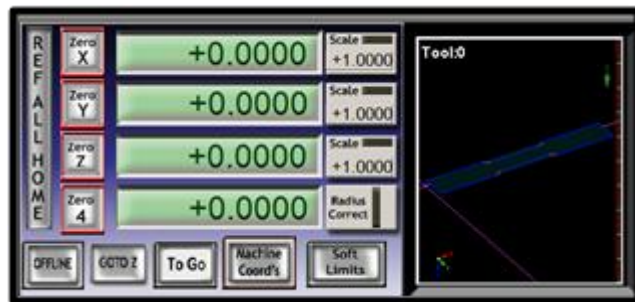


Figura 71. Simulación del código de la probeta en mach3mill.

Se puede observar que el recorrido de la herramienta en el simulador es igual al perfil de la probeta con la única diferencia que esta trayectoria tiene una compensación de herramienta de 3mm por lo que este recorrido es más grande.

3.3.1. Mecanizado con Fresadora Convencional

Se empieza el mecanizado utilizando la fresadora convencional, tratando que los parámetros de desplazamiento sean similares, una vez

que el operador empiece a colocar la pieza se toma el tiempo desde el inicio hasta cuando retire la pieza.

Siguiendo el proceso descrito en la hoja de proceso, el maestro fresador procede:

- a) A colocar la pieza en una prensa para sujetar la pieza.
- b) Calibrar la pieza con respecto a la máquina utilizando un reloj comparador.
- c) Empieza a trazar el perfil de la probeta sobre el bloque, para guiarse de cómo es la forma que tendrá el material una vez mecanizado.
- d) Mecanizar la placa de plástico.
- e) Retirar la placa de plástico.

En la tabla 5 se observaran los resultados obtenidos con respecto al tiempo y en la tabla 6 los resultados de las medidas obtenidas.

En la figura 71 se puede ver la pieza totalmente mecanizada que se realizó en la fresadora Convencional.

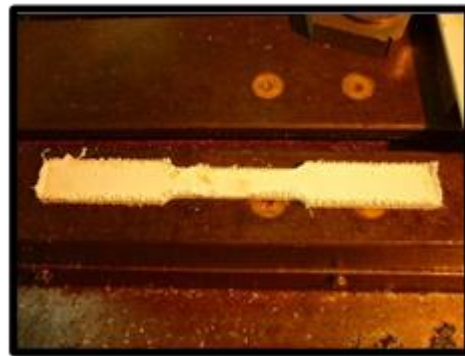


Figura 72. Pieza obtenida en la fresadora convencional

3.3.2. Mecanizado con Fresadora Convertida

Se toma el tiempo una vez que empiece por colocar la pieza. Los pasos a seguir son los siguientes:

- a) Colocar la pieza en una prensa para sujetar la pieza.
- b) Calibrar la pieza con respecto a la máquina utilizando un reloj comparador.
- c) Tomar el cero de pieza con la herramienta.
- d) Enviar el código.
- e) Mecanizar la placa de plástico con mediciones constantes.
- f) Retirar la placa de plástico.

En la Figura 73 se puede ver el tiempo tomado de mecanizado de la pieza utilizando un cronómetro de pantalla.

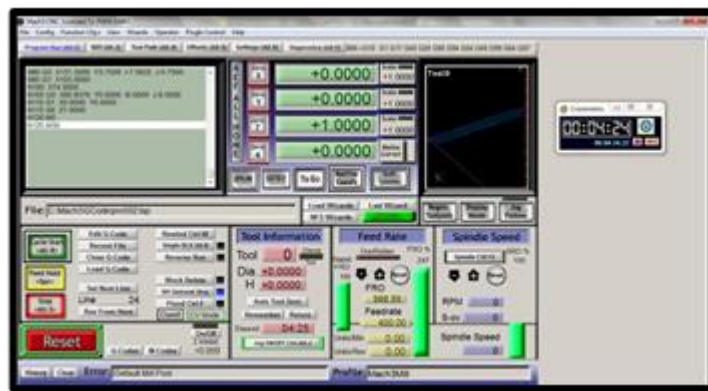


Figura 73. Tiempo de mecanizado de fresadora convertida

En la Figura 74 se puede ver la pieza totalmente mecanizada que se realizó en la fresadora CNC.



Figura 74. Pieza obtenida en la fresadora convertida

3.3.3. Mecanizado con Fresadora CNC

Se tomara el tiempo una vez que se empiece a colocar la pieza. Los pasos a seguir forman los siguientes:

- a) A colocar la pieza en una prensa para sujetar la pieza.
- b) Calibrar la pieza con respecto a la máquina utilizando un reloj comparador.
- c) Tomar el cero de pieza con la herramienta.
- d) Enviar el código.
- e) Mecanizar la placa de plástico.
- f) Retirar la placa de plástico.

En la figura 75 se tiene la pieza totalmente mecanizada que se realizó en la fresadora CNC, el procedimiento es similar al que se utilizó en la fresadora convertida.

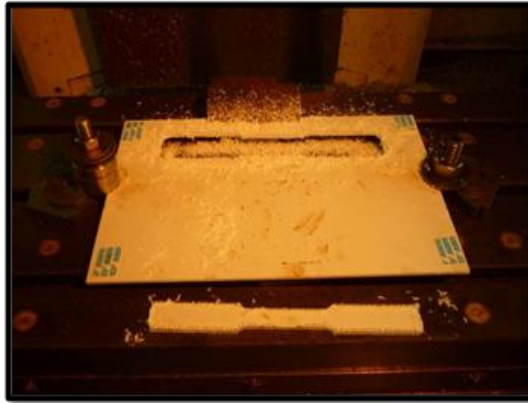


Figura 75. Pieza obtenida en la fresadora cnc.

Una vez obtenido los datos se proceden a llenar la tabla 3 y la tabla 6 que llevan todos los valores obtenidos.

	Fresadora Convencional(min)	Fresadora Convertida (min)	Fresadora CNC (min)
Tiempo de colocación	30:00	20:00	20:00
Tiempo de Mecanizado del Material	45:00	4:25	3:00
Tiempo total Maquinado	75:00	24:25	23:00

Tabla 3. Tiempo de maquinado de la probeta

	Medidas Reales(mm)	Fresadora Convencional (mm)	Fresadora Convertida (mm)	Fresadora CNC (mm)
Long. de la probeta	200	200.5	200.1	200.1
Long. calibrada	57	57.5	57.2	57
Ancho del agarre	20	20.1	20.2	20.05
Ancho de la Long. calibrada	12	12.8	12.4	12.5

Tabla 4. Valores obtenidos del mecanizado de las probetas.

Con estos valores se puede determinar que la precisión entre una máquina convertida y una CNC de fábrica es mínima en comparación

con la fresadora convencional, lo mismo ocurre con los tiempo de mecanizado, incluso el tiempo es menor si este proceso fuese repetitivo, porque sólo se colocaría la pieza y no se calibrará ni se tomará el centro porque todo fue hecho en la primera probeta.

3.4. Evaluación de costos de la implementación.

La implementación del sistema tiene un costo aproximado de \$6500 que se lo obtiene en la tabla 5.

Unid.	Lista de materiales y/o herramientas	Precios(\$)
	Costo de implementación de sistema de control	
3	3MotorVRDM 3910/50 LHB	\$600
3	3Stepper Driver de Psd6058-3p Board/ controlador para motor p/motor de paso	\$400
1	Interface de puerto paralelo Jtron mod. 03100504	\$200
1	Computadora	\$400
1	Licencia de Software de CN (mach 3)	\$200
1	Licencia de Software de sectorización (LacyCam)	\$200
1	Panel de Control y sistemas de protección	\$800
1	Fuente de poder 350W-60V	\$200
	Costo de implementación de sistema mecánico	
3	Fabricación de Bridas de Unión	\$200
3	Acoples mecánicos de aluminio	\$200
2	Porta Fresas	\$200
6	Fresas	\$100
1	Prensa porta piezas	\$300
	Costo de Mano de Obra	
	Costo de diseño y montaje del sistema	\$2,500
	Total	\$6,500

Tabla 5. Costo de implementación del sistema.

En la tabla 6 se compararon el costo de cada máquina que se encuentra en el mercado y la máquina ya convertida.

	COSTO (\$)
Fresadora CNC de Fabrica	\$ 45.000,00
Fresadora Convencional Reconstruida	\$ 10.000,00
Conversión de Fresadora	\$ 6500,00

Tabla 6. Costos de máquinas en el mercado.

Se observan que la diferencia de valores de adquisición entre una Máquina CNC de fábrica y una convertida es alrededor del 85.5%.

La elaboración de una tabla para entregar información que pueda ayudar a tomar la decisión más conveniente para el contratista, es necesaria y obligatoria. La tabla 9 se elabora a partir de la premisa que la tecnología para realizar piezas en serie, debe ser importada. La cotización es suministrada por Internet a través de las ofertas publicadas por los proveedores cuyo precio promedio es de \$45000, costos de flete, seguro en barco \$ 3000 y los aranceles e impuestos suman \$ 10000 , entotal el costo del equipo es de \$ 58000 puesto en el taller. El montaje y cimentación del área tiene un costo promedio de \$ 3500. Se presenta la tabla 9 sobre el costo de implementación del sistema para adquirir una fresadora importada y en la tabla 10 se presentan los costos para el caso de la fresadora convertida al sistema CNC.

3.5. Análisis de resultados de la solución.

Se pudieron alcanzar los siguientes resultados de la solución planteada con respecto a otras soluciones que existen en el mercado.

La calidad de los productos maquinados con máquinas CNC es mejorado la precisión en todo sentido, bajando de 0.475 mm. a 0.225 mm. después de la implementación de la solución, pero no pudiendo alcanzar la performance de la máquina de fábrica que llega a 0.163 mm. de precisión en las prueba que realizo (Ver tabla 4).

En cuanto al tiempo de proceso de mecanizado también se produjo una disminución considerable, durante las pruebas realizadas se registraron disminuciones de tiempo 75 min. a 25 min. Después de la implementación de la solución, se registró disminuciones en el proceso de preparación de las máquinas y en el proceso de mecanizado en si como se puede ver en la tabla 3.

En cuanto a los costos de implementación son mucho menores que los costos de adquisición de una maquina CNC de fábrica. Como se puede observar que la diferencia de valores de adquisición entre una Máquina CNC de fábrica y una convertida es alrededor del 85.5% como se ver en la tabla 6.

CONCLUSIONES

Después de haber cumplido con el objetivo de transformar una fresadora obsoleta para operaciones normales de mecanizado por arranque de viruta, posteriormente sometida la máquina transformada o actualizada a comparar su funcionamiento con máquinas CNC que hicieron el mismo trabajo, se encontró que la operación de conversión es una solución valedera y puede funcionar en la potenciación del sector artesanal y a que su trabajo es comparable con una CNC importada, por consiguiente se presentan las siguientes conclusiones:

Se logró recabar de información requerida para realizar la implementación de la automatización de la maquina fresadora de diversas fuente bibliográficas como libros, revistas e Internet.

En cuanto a los costos de implementación son mucho menores que los costos de adquisición de una maquina CNC de fábrica. Como se puede observar que la diferencia de valores de adquisición entre una Máquina CNC de fábrica y una convertida es alrededor del 85.5%.

La calidad de los productos maquinados con CNC es mejorado en todo sentido, alcanzando altas precisiones dimensionales sin disminuir el tiempo de ejecución.

El tiempo de ejecución de una maquina disminuye en gran medida, se puede apreciar que el tiempo que le toma a un operario hacer una pieza conforma compleja es mucho mayor, por tener que hacen más operaciones, usualmente con operaciones de medición y comprobación de datos del plano.

El software libre permite tener una ejecución de operaciones, permitiendo al operario solo dibujar la pieza a fabricar y la máquina automáticamente hace dicha pieza, permitiendo tiempo de entrega más cortos.

La precisión disminuye entre una máquina CNC importada contra la máquina modificada existe una diferencia de 0.8% que en la mayoría de aplicaciones de maquinado industrial es despreciable.

Finalmente se presentan las pruebas de corte de diversas figuras geométricas en diversos materiales como son madera, aluminio, acero, acrílico y plástico.

RECOMENDACIONES

Las mejoras posibles de implementar en la máquina convertida e plantean en función de la mejora continua que exigen las normas ISO y por ellos e insiste que en primer lugar el estado permita y promueva:

1. La implementación de esta tecnología en el sector productivo sería de gran aporte al cambio de la matriz productiva y permitiría el desarrollo del artesano por medio de su participación en las compras públicas que ahora no pueden acceder.
2. El sector artesanal cuenta con otro tipo de máquinas que se pueden convertir a control numérico entre las que se encuentran: tornos, rectificadoras, taladro y otras que deben entrar en el plan de renovación del sector.
3. En futuras mejoras del proceso de conversión, se puede adicional un sistema que permita realizar un cambio de herramienta automáticas para disminuir el tiempo de mecanizado.
4. Otra mejora operativa sería acoplar un cuarto eje en esta máquina lo que permitiría hacer piezas conformas mucho más complejas y otras adaptaciones según requiera la producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1]. Yamakawa, Peter; Del Castillo, Carlos; Baldeón, Johan; Espinoza, Luis Miguel; Granda, Juan Carlos; Vega, Lidia; “Modelo tecnológico de integración de servicios para la mype peruana.” – Lima: Universidad ESAN, 2010. – 165 p. – (Serie Gerencia para el Desarrollo; 16); ISBN 978-9972-622-83-0.

[2]. Extraído el 30/01/15 de: <http://www.businesscol.com/economia/precios2.htm>

[3]Extraído el 30/01/15 de: <http://www.mercadolibre.com/fresadoracnc/>. (Los productos de este enlace de internet son temporales.

[4] Steen W. M., Laser Material Processing, Liverpool UK, 1993. Pags. 1, 140-144.

[5] Crandell T. M., CNC Machining and Programing: An Introduction, Industrial Press INC 2ed., 1991. Pags. 1- 5.

[6] Krar S., Gill A., Smid A., Computer Numerical Control Simplified, Industrial Press Inc. 1ed., New York USA, 2001. Pag. Sección 1-4.

[7] Extraído el 30/01/15 de: Sierra Tecnology Group Argentina. <http://www.sierra.com.ar/shc100a.htm>.

[8]Francisco Cruz Teruel, Control Numérico y Programación, Marcombo, 1er edición, Barcelona, 2007.

[9] Rafael Ferre Masip (1988), Como Programar un Control Numérico, Productiva Marcombo, p 25.

[10] Extraído el 30/01/15 de:
http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_herramienta.

[11] Extraído el 10/02/15 de:

<https://forcegear.wordpress.com/2011/10/02/funciones-preparatorias-y-funciones-auxiliares/>

[12] Acuña, Fausto; Diego Bustillos, Klever C.; “Diseño y Construcción de un Prototipo de Centro de Mecanizado Vertical CNC de 5 Ejes para el Laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga”; Departamento de Energía y Mecánica ESPE; Extensión Latacunga; Ecuador.

ANEXOS.

Anexo 1: Tabla de códigos G[11].

8025	8055	Denominación	Modal	Activa
G00	G00	Interpolacion lineal a maxima velocidad	S	S
G01	G01	Interpolacion lineal a velocidad controlada	S	N
G02	G02	Interpolacion circular a derechas	S	N
G03	G03	Interpolacion circular a izquierdas	S	N
G04		Temporizacion	N	N
	G04	Temporizacion/Detención de la preparacion de bloques	N	N
G05	G05	Trabajo en arista matada	S	S
G06	G06	Interpolacion circular con programacion de centros	N	N
G07	G07	Trabajo en arista viva	N	N
G08	G08	Trayectoria tangente a la trayectoria anterior	N	N
G09	G09	Trayectoria circular definida per tres puntos	N	N
	G10	Anulacion de la imagen de espejo	S	S
	G11	Imagen espejo en eje X	S	N
	G12	Imagen espejo en eje Y	S	N
	G13	Imagen espejo en eje Z	S	N
G14		Eje C	S	N
	G14	Imagen espejo en las direcciones programadas	S	N
G15		Selección del plano CZ	S	N
	G15	Eje C	S	N
G16		Selección del plano CX	S	N
	G16	Selección del plano principal por dos direcciones	S	N
	G17	Selección del plano XY y longitud Z	S	N
	G18	Selección del plano ZX y longitud Y	S	N
	G19	Selección del plano YZ y longitud X	S	N

Anexo 2: Tabla de códigos M[11].

Funcion M	Denominación	Principio/ Fin linea	Modal S/N	Activa S/N
M00*	Parada programa	Fin	N	N
M01*	Parada condicionada de programa	Fin	N	N
M02*	Fin de programa	Fin	N	N
M03*	Giro cabezal a derechas	Principio	S	N
M04*	Giro cabezal a izquierdas	Principio	S	N
M05*	Parada del cabezal	Fin	S	S
M06*	Cambio de herramienta	Fin	N	N
M08*	Puesta en marcha refrigerante	Principio	S	N
M09*	Desactivar refrigerante	Fin	S	S
M10	Abrir puerta	Fin	/	/
M11	Cerrar puerta	Principio	/	/
M17	Abrir plato de garras	Fin	/	/
M18	Cerrar plato de garras	Principio	/	/
M19	Posicionamiento del cabezal	Fin	/	/
M30*	Fin del programa y vuelta al inicio	Fin	/	/
M41	Gama de velocidad alta	Principio	S	S
M42	Gama de velocidad baja	Principio	S	N
M45	Cabezal auxiliar/ Herramienta motorizada	Principio	S	N

Anexo 3. Marco legal o normativo.

-Normas iso para máquinas de control numérico.

- ISO 230-2:1997 Código de ensayo para máquina-herramienta.
Parte 2: Determinación de la precisión y la repetitividad de posicionamiento de los ejes de control numérico.
- ISO 230-4:1996 Código de ensayo para máquina-herramienta.
Parte 4: Circular de las pruebas de control numérico para máquina-herramienta.
- ISO 2806:1994 Sistemas de automatización industrial.
Máquinas de Control numérico.
Vocabulario.
- ISO 2972:1979 Control numérico de máquinas.
Símbolos.
- ISO 3592:2000 Sistemas de automatización industrial.
Máquinas de control numérico.
Procesador de la estructura NC del archivo de salida y el lenguaje de formato.
- ISO 4342:1985 Control numérico de máquinas.
Procesador de entrada NC.
Parte del programa básico de referencia de idiomas.
- ISO/TR 6132:1981 Control numérico de máquinas.
El mando operativo y formato de datos.
- ISO 6983-1:1982 Control numérico de máquinas.
Formato de programa y la definición de dirección de las palabras. Parte 1:
Formato de datos de posicionamiento, línea de movimiento y control de los sistemas de control.

ANEXO 4: Tabla de Ciclos fijos de operación.

Código G	Taladrado dirección Z	Operación en el fondo del agujero	Retroceso Dirección + Z	Utilización
G73	Avance intermitente		Avance rápido	Taladrado profundo rápido
G74	Avance de trabajo	Inversión cabezal	Avance de trabajo	Roscado a izquierda con macho
G76	Avance de trabajo	Parada del eje en una posición	Avance rápido	Taladrado fino
G80	- - -	- - -	- - -	Anulación
G81	Avance de trabajo		Avance rápido	Taladrado y centrado
G82	Avance de trabajo	Temporizado	Avance rápido	Taladrado avellanado
G83			Avance rápido	Taladrado profundo
G84	Avance de trabajo	Inversión del eje	Avance de trabajo	Roscado a derechas con macho
G85	Avance de trabajo		Avance de trabajo	Ciclo de mandrinado 1
G86	Avance de trabajo	Parada del eje	Avance de trabajo	Ciclo de mandrinado 2
G87	Avance de trabajo	Parada del eje	Manual	Ciclo de corte detras del agujero
G88	Avance de trabajo	Temporizado parada del eje	Manual	Ciclo de mandrinado 3
G89	Avance de trabajo	Temporizado	Avance de trabajo	Ciclo de mandrinado 4

ANEXO 5: Tabla de Características de los ciclos fijos.

<p>G99. Punto R nivel de retroceso</p>	<p>G98. Nivel de retroceso inicial</p>	<p>N...G73 (G99, G98) X...Y...Z...R...Q...F...</p> <p>(XY) - Plano posicionado (R) - Plano de referencia (Q) - 1^{er} taladrado (Z) - Profundidad agujero (Q) - Retroceso rápido = Avance de trabajo = Rápido</p> <p>Taladrado profundo rápido</p> <ul style="list-style-type: none"> Tras cada proceso de taladrado se realiza el retroceso (q) rápido. Cada proceso de taladrado se incrementa la profundidad (Q) en la distancia (q).
<p>G99. Retroceso a R</p>	<p>G98. Retroceso a XY</p>	<p>N...G74 (G99, G98) X...Y...Z...R...F...</p> <p>(XY) - Plano posicionado (R) - Plano referencia (Z) - Profundidad agujero (P) - Tiempo parada = Avance de trabajo = Rápido</p> <p>Roscado a izquierda con macho</p> <ul style="list-style-type: none"> La operación se realiza girando a izquierda (M04) Parada de cabezal con inversión de giro (M03) Sacar herramienta Giro a izquierdas (M04)
<p>G99. Retroceso a R</p>	<p>G98. Retroceso a XY</p>	<p>N...G76 (G99, G98) X...Y...Z...R...Q...P...F</p> <p>(XY) - Plano posicionado (R) - Plano referencia (Z) - Profundidad (P) - Tiempo parada (Q) - Desplazamiento M19 - Señal parada orientada de cabezal = Avance de trabajo = Rápido</p> <p>Taladrado fino con cuchilla</p> <ul style="list-style-type: none"> Tras alcanzar la profundidad (Z) transcurrido el tiempo de parada programado (P), parada orientada del cabezal. Desplazamiento radial y sacada de herramienta.

Anexo 6. Transmisión de movimiento a eje mediante polea.



Anexo 7. Transmisión de movimiento a eje mediante acoplamiento.



Anexo 8. Tabla cronológica de antecedentes.

1725	Basile Bauchon, la industria textil era ya antigua cuando Basile sustituyó por una cinta sin fin de papel perforado los cordones en bucle que elevan parte del equipo del telar.
1728	M. Falcon, inventor francés, construyó una máquina de tejer que usaba tarjetas perforadas, pero que requería de un operario adicional para operar las tarjetas.
1745	Jaques de Vaucanson, introdujo un perfeccionamiento ulterior combinado el papel perforado de Bauchon con el mecanismo de Falcon.
1801	Joseph Marie Jacquard, inventor francés mejoró mucho y perfeccionó todavía más el telar dejándolo como es hoy, y presentó el resultado de su trabajo en la exposición industrial de París.
1863	M Forneaux – Primer piano que tocó automáticamente (se forzaba aire a través de rollos perforados de papel).
1870-1890	Eli Whitney – desarrollo de plantillas y dispositivos de manufactura. “Sistema norteamericano de manufactura de partes intercambiables”
1940	Introducción de los controles hidráulicos, neumáticos y electrónicos.
1945	Comienzo de la investigación y el desarrollo del control numérico. Comienzo de los experimentos de producción con control numérico.
1948	Parsons Corporation fabrica unos alabes de rotores para helicópteros mediante un ordenador cuyos datos de entrada eran las distintas 1948 coordenadas de la herramienta perforada en tarjetas.
1955-1957	Las herramientas automatizadas comenzaron a aparecer en las plantas de producción para la Fuerza Aérea de los Estados Unidos. Hay concentración en la investigación y el desarrollo del control numérico.
1960 hasta la actualidad	Se crean varios nuevos sistemas de control numérico. Se perfeccionan las aplicaciones a la producción de una gama más grande hasta de procedimientos de maquinado de metales. la Se idearon aplicaciones a otras actividades diferentes del maquinado de actualidad metales.
Hoy	Se utilizan insumos computarizados de control numérico. Se utilizan documentos computarizados de planeación gráficos por el control numérico. Se han desarrollado procedimientos computarizados de trazo de curvas de en día nivel por control numérico, a bajo costo. Se han establecido Centros de Maquinado para utilización general.

Anexo 9. Características técnicas de motor de paso a paso.

SPECIFICATIONS 3-PHASE STEPPING MOTORS

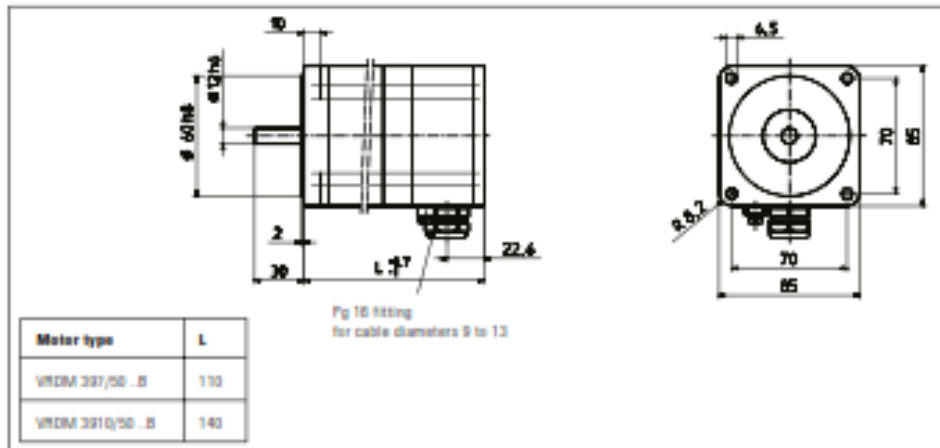
Motor specifications		VKDM 397/50 LHS	VKDM 3910/50 LHS
Number of steps	z	200 / 400 / 500 / 1000 2000 / 4000 / 5000 / 10000	
Step angle	α °	1.8 / 0.9 / 0.72 / 0.36 0.18 / 0.09 / 0.072 / 0.036	
Max. torque	M_{\max} Ncm	170	370
Holding torque	M_h Ncm	192	418
Moment of inertia of rotor	J_r kgcm ²	1.1	2.2
Step accuracy, non-cumulative ¹⁾	$\Delta\alpha$ °	±5	±5
Max. starting frequency ²⁾	f_{\max} kHz	5.0	4.8
Nominal current/winding	I_N A	5.8	5.8
Resistance/winding	R_N Ω	0.35	0.55
Time constant of current rise	τ ms	-7	-9
Max. dynamic shaft load	axial ²⁾ N radial N	-80 -100	-80 -100
Weight	G kg	2.05	3.1
Motor voltage	U VDC	18 to 40	18 to 40

¹⁾ measured at 1,000 steps/revolution

²⁾ at half shaft exit (from motor flange)

Common characteristics of both motors

- Test voltage according to VDE 0530
- Protection IP41 at shaft exit, front, IP56 at terminal box
- Insulation material class F
- Run-out and perpendicularity as per DIN 42955 N



Our/See drawing VKDM 397 and VKDM 3910 with terminal box

Anexo 10. Características técnicas de interface de control.

General

Marca Jtron
Modelo 03100504

Especificación

Chipset MACH3

Manual de Inglés / Spec No

Otras características

Certificación NO

Dimensiones y Peso

Dimensiones 4.25 in x 2.99 in x 0.83 in (10,8 cm x 7,6 cm x 2,1 cm)

Peso 15,52 oz (440 g)

Lista de Embalaje

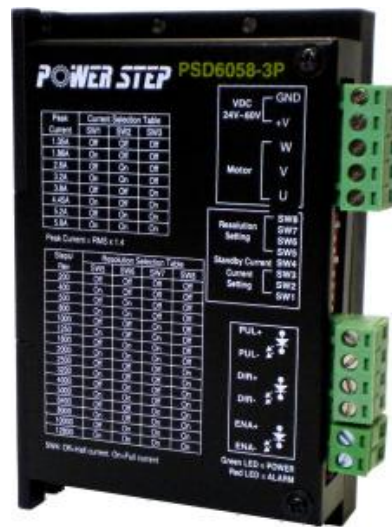
1 x Board

1 x USB line(Cable length: 1.5m)

1 x parallel port line(Cable length: 1.5m)



Anexo 11.CNC trifásico Stepper Driver de Psd6058-3p-Programa piloto de Micro-Escalonamiento bipolar eléctrico del motor de pasos



Información Básica

No. de Modelo: PSD6058-3P

Descripción de Producto

- CNC trifásico Stepper Driver de PSD6058-3p--programa piloto de micro-escalonamiento bipolar eléctrico del motor de pasos.
- Descripción del programa piloto de pasos del CNC de 3 fases:
- Características dominantes de los programas pilotos del escalonamiento: de 24 a 58VDC Supply Voltage.
- 2 H-Puentes, mecanismo impulsor bipolar del Micro-escalonamiento de 3 fases. Conveniente para motores de paso trifásico, de progresión, con nema 16 a nema 34.
- Corriente de 4 salida seleccionables a partir de 1.35 A a 5.8 A pico.
- Reducción de corrientes hasta el 50% automáticamente, cuando se permite el modo de la parada del motor.
- Frecuencia de entrada de 6 pulsos hasta 200 kilociclos.
- 7 entradas de información diferenciadas óptico aisladas de la TTL para entradas de información de señal de Pulso, de Dirección y de Enable
- 8 resoluciones seleccionables hasta 12800 pasos de progresión
- 9 bobinas para sobre Voltaje, para la protección del cortocircuito de tierra.

ANEXO 12: Diseño y Construcción de un Prototipo de Centro de Mecanizado Vertical CNC de 5 Ejes para el Laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga.

Fausto Acuña

Departamento de Energía y Mecánica
ESPE, Extensión Latacunga
Latacunga, Ecuador
fvacunia@espe.edu.ec

Diego Bustillos, Klever Coque

Departamento de Energía y Mecánica
ESPE, Extensión Latacunga
Latacunga, Ecuador

Resumen La automatización de máquinas herramientas de control numérico computarizado (CNC) ha alcanzado una gran importancia en la industria de manufactura flexible, brindando optimización de tiempo y disminución de errores en la producción por falla humana.

La presente tesis consiste en el “Diseño y construcción de un prototipo de centro de mecanizado vertical CNC de 5 ejes para el laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga.”, partiendo de un prototipo de fresadora vertical de tres ejes construida como proyecto de investigación.

El prototipo propuesto, para el laboratorio CNC, trata de implementar un cuarto eje rotativo “A” sobre al eje “X” y un quinto eje rotativo “C” sobre el eje “Z” según la norma DIN 66217, así como también la sustitución de la transmisión piñón-cremallera del eje “Z” por una de tuerca-husillo de bolas, para el mecanizado de superficies complejas.

El control de la máquina se lo realizó por software, mediante una interfaz HMI (Humano-Máquina), para la lectura e interpretación de códigos ISO o denominado lenguaje de programación “G”; para el control de velocidad, aceleración y posición de los 5 ejes se utilizó motores a pasos y sus controladores colocados uno por cada eje; la comunicación se lo realizó mediante dos puertos paralelos LPT1 y LPT2 con conectores DB-25 según la norma RS232.

Su funcionamiento se basa en la técnica CAD/CAM que consiste en dibujar la pieza a mecanizar mediante software CAD y luego programar la trayectoria de la herramienta con software CAM, para finalmente simular y mecanizar, todo ello en forma automática.

Palabras-clave; control numérico computarizado; torno fresador; grados de libertad; husillos de bolas; servomotores; servodrivres; controlador; códigos G; tecnología CAD/CAM; FMS.

I. INTRODUCCIÓN

En una máquina fresadora vertical de cinco ejes, además del movimiento relativo entre pieza y herramienta en tres ejes, se puede controlar o bien el giro de la pieza sobre dos ejes, uno

perpendicular al eje de la herramienta y otro paralelo a ella (como con un mecanismo divisor y un plato giratorio en una fresadora vertical); o bien el giro de la pieza sobre un eje horizontal y la inclinación de la herramienta alrededor de un eje perpendicular al anterior. Se utilizan para generar formas complejas, como el rodete de una turbina Francis [1]. Los ejes lineales X Y Z pueden desplazarse simultáneamente con los ejes rotacionales A y C o a su vez en forma posicional, gracias a ello se obtiene resultados de mecanizados de piezas complejas, permitiendo así realizar elementos de precisión con la facilidad que representa cambiar de un modelo de pieza a otro mediante la inserción del programa correspondiente. El equipo de control numérico se controla mediante un programa que utiliza números, letras y otros símbolos, por ejemplo, los llamados códigos G (movimientos y ciclos fijos) y M (funciones auxiliares), están codificados en un formato apropiado para definir un programa de instrucciones para el desarrollo de una tarea concreta. Cuando la tarea en cuestión varía se cambia el programa de instrucciones. La máquina opera a velocidades de corte y avance muy superiores a las fresadoras convencionales por lo que se utilizan herramientas de metal duro para disminuir la fatiga de materiales [2].

El recorrido de los nueve ejes, movimientos principales y rotativos están sujetos a un estándar industrial, la notación utilizada para los ejes y su dirección en máquinas herramientas es como se muestra en la Fig. 1.

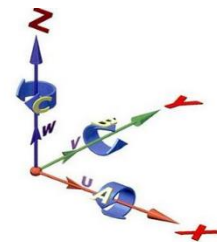


Figura 1. Notación de los ejes y dirección de movimiento en máquinas herramientas.

En donde:

X e Y: Movimientos principales de avance en el plano de trabajo principal.

Z: Eje paralelo al eje principal de la máquina, perpendicular al plano principal X, Y.

U, V, W: Ejes auxiliares paralelos a X, Y, Z respectivamente.

“A”, “B”, “C”: Ejes rotativos sobre cada uno de los ejes “X”, “Y”, “Z”.

Ventajas y desventajas del mecanizado con 5 ejes

Entre las principales ventajas del mecanizado con cinco ejes de movimiento tenemos: el mecanizado de piezas con curvas complejas, mecanizado de curvas internas, reducción del tiempo de mecanizado, mecanizado posicional o simultáneo. Las desventajas son: reducción de la velocidad de avance para el mecanizado. Disminución del área de trabajo, compleja programación, cuando se trata de prototipos aumento de vibración que es directamente proporcional a la robustez de los ejes rotativos, y compleja implementación de un cambio automático de herramientas.

De preferencia se debe programar para realizar un mecanizado posicional en el cual la máquina fresa de cara en cara al elemento mecánico, y cuando se programa de manera secuencial es decir los cinco ejes a la vez o en grupos de tres ejes se tiene vibración excesiva, reducción de precisión y excesivo tiempo de mecanizado.

II. DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO

A. Parámetros de diseño

Se parte de la estructura de la fresadora vertical de 3 ejes CNC existente en el laboratorio, Fig.2.

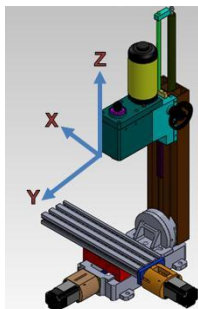


Figura 2. Prototipo de fresadora vertical de 3 ejes CNC.

Debido a que el recorrido de los ejes principales del prototipo está limitado por su geometría original, se mantendrán los recorridos de los ejes X, Y, Z, mientras que el recorrido de los ejes A y C se basaran en prototipos existentes.

Recorrido en el eje “X”

140 mm. Recorrido en el

eje “Y”: 86 mm. Recorrido

en el eje “Z”: 215 mm.

Recorrido en el eje “A”:

±90°.

Recorrido en el eje “C”: ±360°. (Infinito).

El prototipo de fresadora vertical de 5 ejes tendrá como aplicación las diferentes operaciones de fresado descritas en la en materiales de baja dureza como máximo el aluminio teniendo una velocidad de corte igual a 160 [m/min]. Las

herramientas a usarse serán fresas de vástago, el diámetro máximo de la fresa será de 6mm.

Dentro del diseño y selección de materiales para la elaboración del prototipo, torque necesario para mover las estructuras de cada eje, potencia de los actuadores; es de suma necesidad calcular la fuerza de corte (F_c), las cargas que soportaran los ejes (L_z , L_A , L_C) y la potencia de corte (P_c).

La máxima fuerza de corte viene dada por la siguiente expresión:

$$F_c = K_s \cdot A_c \quad [N] \quad (1)$$

Dónde K_s es la presión específica de corte dependiendo del material en este caso aluminio y su valor es igual a 100 [N/mm²] [3]. El área de corte (A_c) se lo calcula con el producto de un avance de corte (s) igual a 0.8 [mm] y una profundidad de corte (a) igual a [5mm] estos valores son recomendados para el mecanizado de aluminio [4].

Por lo que se tiene $F_c = 375$ [N].

Las cargas que soportan los ejes son la sumatoria de pesos estructurales más la fuerza de corte calculada, para el eje “Z” se tiene $L_z = 595.6$ [N], para el eje “A” $L_A = 462$ [N], y para el eje “C” $L_C = 378.5$ [N].

La potencia de corte es el producto la fuerza de corte por la velocidad de corte, por lo que se tiene:

$$P_c = F_c \cdot V_c \quad (2)$$

$$P_c = 1000 [W] = 1.33 [HP]$$

B. Descripción del sistema mecánico para el movimiento del eje “Y”

Este eje mantiene el mecanismo de movimiento original y que consta de guías cola de milano, transmisión de movimiento por husillo de bolas – tuerca. Como se muestra en la Fig. 3.

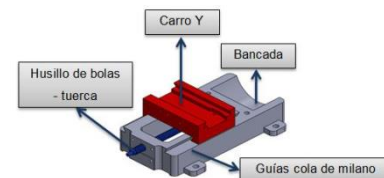


Figura 3. Mecanismo de movimiento del eje “Y”.

C. Descripción del sistema mecánico para el movimiento del eje “X”.

Este eje mantiene el mecanismo de movimiento original y que consta de guías cola de milano, transmisión de movimiento por husillo de bolas – tuerca. Como se muestra en la Fig. 4.

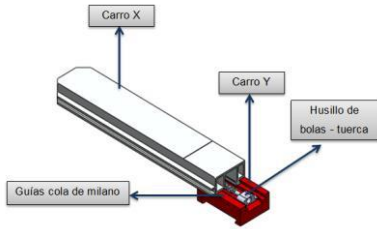


Figura 4. Mecanismo de movimiento del eje "X".

D. Diseño del sistema mecánico para el movimiento del eje "Z".

En la Fig. 5 se aprecia el sistema mecánico para el movimiento del eje "Z", el cual mantendrá las guías lineales cola de milano original del prototipo de fresadora vertical de 3 ejes, pero tendrá su variante en la transmisión del movimiento, se implementará un husillo de bolas-tuerca.

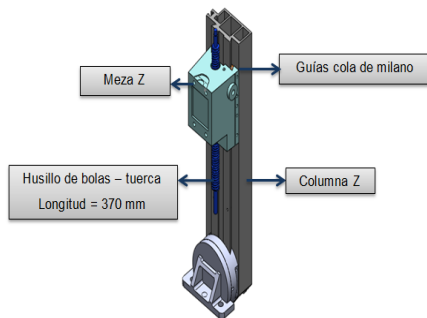


Figura 5. Mecanismo de movimiento del eje "Z".

1) Cálculo del husillo roscado de bolas.

Para la selección del husillo del eje "Z" se utiliza la longitud del husillo (370 mm) y la fuerza de la carga L_Z (595.6 N). Si se considera un factor de seguridad $N = 3$ y una resistencia a la fluencia en el acero plata (AISI-410) $S_Y = 276$ MPa [5], de acuerdo a la ecuación (3) de diseño se tiene:

$$\sigma' > \sigma_d \quad (3)$$

Y el esfuerzo de diseño máximo será:

$$\sigma_d = S_Y / N \quad (4)$$

El módulo de sección está dado por la siguiente expresión:

$$S = M / \sigma_d \quad (5)$$

Donde M es el momento flector máximo que se genera por la carga L_Z e igual a 53162.65 N-mm.

$$S = 289 \text{ mm}^3$$

El diámetro del husillo está dado por la siguiente expresión:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 * S}{\pi}} \quad (6)$$

$$D = 15 \text{ mm}$$

Se seleccionó el Husillo de Bolas para el Eje "Z" de un diámetro de 20 mm y de paso 5mm, debido a que en el mercado nacional este diámetro es el más manufacturado en material acero plata.

2) Cálculo del torque para la estructura del eje "Z".

La distribución de fuerzas e inercias en una mesa de mecanizado se observan en la siguiente Fig. 6.

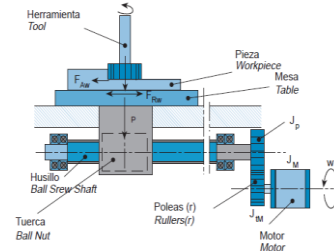


Figura 6. Fuerzas e Inercias en un ejemplo de mesa de mecanizado.

El torque necesario para mover cada estructura en los ejes se lo calcula con la siguiente expresión:

$$T_{Tod} = r * T_E + T_D \quad (7)$$

Donde (r) es la relación de poleas, T_E [Nm] el torque estático de las estructuras, T_D [Nm] es el torque dinámico de la estructura.

$$T_E = 0.183 \text{ [Nm]} \quad T_D = 0.090 \text{ [Nm]} \quad r = 1 \text{ (sin poleas)}$$

Por lo que el torque total T_{Tod} es:

$$T_{Tod} = 0.273 \text{ [Nm]}$$

E. Diseño del sistema mecánico para el movimiento del eje rotativo A.

En la Fig. 7 se aprecia el diseño mecánico para el movimiento rotativo del eje "A", el principal sistema mecánico que permite recoger el movimiento rotatorio de un actuador y transmitir movimiento rotatorio a la estructura es el de sin fin-corona (mesa rotativa).

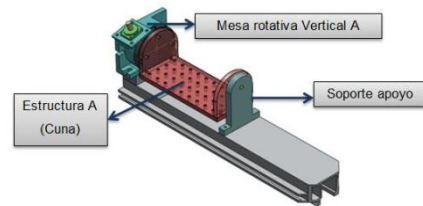


Figura 7. Mecanismo de movimiento del eje "A".

1) Cálculo de la estructura del eje "A" (Cuna).

En este procedimiento interviene la carga que soporta esta estructura L_A . En la Fig. 8 se muestra el análisis estático realizado con SolidWorks, el cual muestra la escala de Von Mises con el máximo esfuerzo que soportara el material.

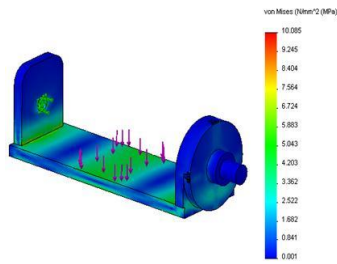


Figura 8. Análisis estático de la estructura eje "A".

Como deformación máxima tenemos 10,085 MPa. El material de la estructura es Aleación de Aluminio 5052-H34 ($S_y = 90$ MPa), y un factor de seguridad de 3 (Mott, 1990), con lo que verificamos que se cumple la ecuación (3) de diseño. Por lo que el espesor de la placa para esta estructura será de 13 mm, valor q se justifica por ser el adquirido por el laboratorio de la institución.

2) *Cálculo de la transmisión de movimiento rotativo sin fin – corona para el eje "A".*

La fuerza de corte en el fresado se genera con la punta de la fresa en la estructura, y es considerada como puntual por lo que se analiza el máximo torque que genera en la estructura A como se observa en Fig. 9,

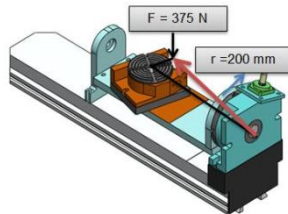


Figura 9. Fuerzas puntual para calcular el torque estático en el eje "A".

La fuerza puntual indicada es $F = 375$ N. El torque generado o de salida del mecanismo se lo calcula con el producto de esta fuerza en Newton por la distancia o radio en metros (2 m) de la fuerza al eje de rotación y se tiene que:

$$T = r * F \quad (8)$$

$$T = 75 \text{ Nm}$$

Con este torque de salida se calcula la relación de transmisión del mecanismo Sin Fin – Corona con la siguiente expresión [6].

$$i = e_1 / Z_2 = T_i / T_o \quad (9)$$

Donde i es la relación de transmisión, e_1 es el número de dientes del sin fin e igual a uno para este mecanismo, Z_2 es el número de dientes de la corona, T_o es el torque de salida, y T_1 es el torque de entrada al mecanismo e igual a 2 Nm que es un valor de diseño por lo que se tiene:

$$i = 2 \text{ Nm} / 80 \text{ Nm} = 0,027$$

$$Z_2 = 1 / 0,027 = 37 \text{ Dientes.}$$

El número de dientes de la corona se selecciona de 36 dientes, esto se justifica por la estandarización existente en el mercado para este mecanismo.

F. *Diseño del sistema mecánico para el movimiento del eje rotativo C.*

Al igual que el mecanismo de movimiento del eje "A" este mecanismo constara de una transmisión sin fin – corona, con la variante que la posición de trabajo será de forma horizontal como se muestra en la Fig. 10.

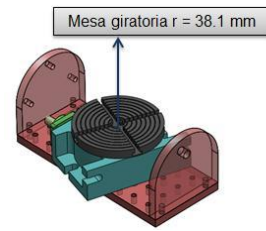


Figura 10. Fuerzas puntual para calcular el torque estático en el eje "A".

3) *Cálculo de la transmisión de movimiento rotativo sin fin – corona para el eje "C":*

La fuerza puntual es de $F = 375$ N, el torque generado o de salida del mecanismo se lo calcula con el producto de esta fuerza en Newton por la distancia o radio en metros de la fuerza al eje de rotación en este caso $r=0.04$ m (radio de la mesa eje "C") y aplicando la ecuación (8).

$$T = r * F = 0.04 \text{ m} * 375 \text{ N} = 15 \text{ Nm}$$

Torque de salida de la transmisión. La relación de transmisión y el número de dientes de la corona para este eje se lo calcula con la ecuación (9) y dando un valor de 0.9 Nm como torque de entrada.

$$i = T_i / T_o = 0.9 \text{ Nm} / 15 \text{ Nm} = 0.06$$

$$Z_2 = e_1 / i = 1 / 0.06 = 17 \text{ Dientes}$$

El número de dientes de la corona se selecciona de 36 dientes, esto se justifica por la estandarización existente en el mercado para este mecanismo, por lo que se tiene un sobredimensionamiento para el torque de salida del mecanismo aproximadamente del doble del torque calculado.

G. *Descripción del sistema mecánico del cabezal fresador.*

En la Fig. 11 se observa el sistema mecánico del cabezal fresador el cual está constituido de una transmisión de engranes – banda síncrona, para el movimiento del husillo que se mantiene original del prototipo de partida.

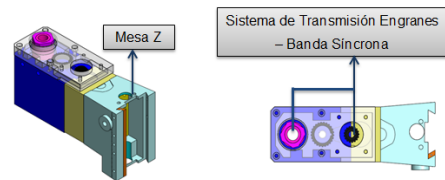


Figura 11. Mecanismo del cabezal fresador.

H. *Descripción de motores para el prototipo.*

Los motores para los ejes del prototipo son de la marca QuickSilver Controls de denominación QCI-K3-3 ya que

satisfacen las características mecánicas requeridas como el torque calculado para mover las estructuras de cada eje principal X, Y, Z, y como torque de entrada a los mecanismos reductores de los ejes rotativos “A”, “C” a continuación se muestra sus características técnicas:

TABLA I. TABLA 2.2: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MOTORES A PASOS.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SERVOMOTOR	
Características	Motor 23-3
Velocidad Máxima (RPM)	2000
Velocidad Óptima a 48V (RPM)	500
Torque a la Velocidad Óptima (oz-in/ N-m)	110 0.78
Torque Continuo (oz-in / N-m)	125 0.88
Potencia Pico (Watts)	47
Inercia del Rotor (oz-in ² /Kg-m ²)	1.36 2.5E-5
Corriente de Entrada Máxima (Amperios-DC)	3.0

III. DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

A. Parámetros de diseño:

El la Fig. 12, se muestra el esquema general de control en máquinas CNC, que consiste: en programar el elemento mecánico a mecanizar en CAD/CAM, para que luego el sistema de control pueda acondicionar y amplificar las señales digitales generadas por los programas y proporcionar señales analógicas que gobernarán al sistema electromecánico controlando posición, y velocidad en los actuadores (motores a pasos), todo esto con la finalidad de obtener el mecanizado previsto de manera automática.

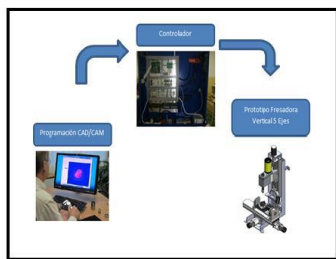


Figura 12. Esquema general de control para máquinas CNC.

1) Diseño del sistema electrónico – eléctrico de control:

En la Fig. 13 se aprecia un diagrama de bloques que indica que el diseño del sistema de control del prototipo será a lazo abierto.

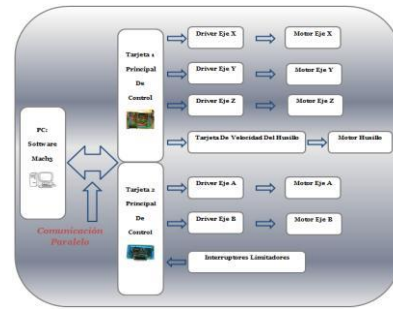


Figura 13. Diagrama de bloques de las tarjetas controladoras.

Para controlar el movimiento de cinco ejes es necesario utilizar dos tarjetas controladoras CNC. Una tarjeta principal la cual deberá comunicarse con el ordenador, con los tres drivers de los motores de los ejes “X”, “Y” y “Z”, y a su vez con una tarjeta de control de velocidad para el motor del husillo. Una segunda tarjeta principal que permitirá la comunicación con el ordenador y a su vez con los dos drivers de los motores de los ejes A y C. Estas dos tarjetas principales deben controlar los pulsos de paso y dirección para manipular el funcionamiento de los cinco drivers que controlan el movimiento de los motores X, Y, Z, A y C.

2) Diseño del software de control.

El diseño del software de control debe satisfacer las siguientes necesidades de compatibilidad: primero con las tarjetas electrónicas de control, luego con el sistema operativo del ordenador (Windows XP, de 32 bits con procesador como mínimo de 1GHz). Tiene que permitir la comunicación de dos puertos paralelos para el control de 5 ejes, tiene que permitir el control de velocidad de la herramienta, debe leer y procesar los códigos G de programación CNC, debe permitir el uso manual y automático de la máquina, tiene que ser de fácil configuración, debe tener seguridades manuales y automáticas como por ejemplo límites de recorrido y paros de emergencia.

3) Diseño de la pantalla para el HMI.

Para la configuración, supervisión y control del movimiento de cada eje es necesario implementar un conjunto de pantallas que de manera general cumplan los siguientes parámetros:

Una pantalla principal que muestre el recorrido de los 5 ejes y la activación del husillo, una pantalla de configuración general, una pantalla para cargar y modificar los códigos G, una pantallas para visualización y control del progreso del programa CNC, una pantalla para recorrido de los 5 ejes, una pantalla para movimiento y posición de la herramienta, una pantalla con de diagnóstico.

4) Diseño de comunicación.

Para la comunicación entre el ordenador y el sistema eléctrico-electrónico se debe tener una interfaz de comunicación bidireccional, es decir que permita comunicar datos de entrada y datos de salida. Hay que tomar en cuenta que las tarjetas electrónicas de control tienen la característica física de un conector DB25. Por lo que se deberá tener un cable de datos UTP conectado a cada extremo un terminal DB25 macho. La conexión entre los terminales DB25 debe ser conforme se muestra la Fig. 14.

DCE Device (Modem) DB25		Connections		DCE Device (Modem) DB25	
Pin#	DB25 RS-232 Signal Names	Signal Direction	Pin#	DB25 RS-232 Signal Names	
#1	Shield to Frame Ground	FGND	#1	Shield to Frame Ground	FGND
#2	Transmit Data (Tx)	TD	#2	Transmit Data (Tx)	TD
#3	Receive Data (Rx)	RD	#3	Receive Data (Rx)	RD
#4	Request to Send	RTS	#4	Request to Send	RTS
#5	Clear to Send	CTS	#5	Clear to Send	CTS
#6	Data Set Ready	DSR	#6	Data Set Ready	DSR
#7	Signal Ground/Common (SG)	GND	#7	Signal Ground/Common (SG)	GND
#8	Carrier Detector (DCD)	CD	#8	Carrier Detector (DCD)	CD
#20	Data Terminal Ready	DTR	#20	Data Terminal Ready	DTR
#22	Ring Indicator	RI	#22	Ring Indicator	RI

Figura 14. Conexión entre dos DB25.

IV. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA

Posterior al diseño y selección de todos los elementos mecánicos y del sistema de control para el prototipo se precede a implementar los.

A. Implementación del mecanismo de movimiento del eje "X".

El mecanismo de movimiento del eje "X" consta de su carro transversal con guías cola de milano, el movimiento se realiza con la ayuda del husillo de bolas con su respectiva tuerca acoplado al carro transversal del eje "Y", la transmisión del movimiento del motor se da por un acople flexible el cual está cubierto por un protector de duralon como se muestra en la Fig. 15.

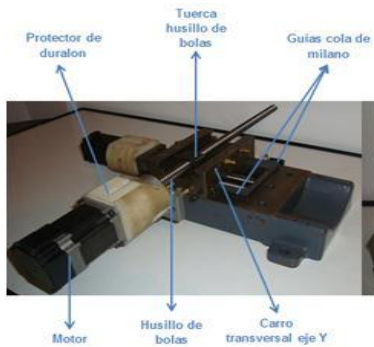


Figura 15. Ensamble del mecanismo del eje "x"

B. Implementación del mecanismo de movimiento del eje "Y"

El mecanismo de la estructura del eje "Y" consta de su carro principal con guías cola de milano, este carro se encuentra instalado en la bancada principal; el movimiento de la estructura del eje "Y" está dado por un husillo de bolas con su respectiva tuerca que se encuentra ubicada debajo del carro principal "Y" siendo difícil su visualización e instalación; y la transmisión del movimiento del motor se da por un acople flexible el cual está cubierto por un protector de duralon como se muestra en la Fig. 16.

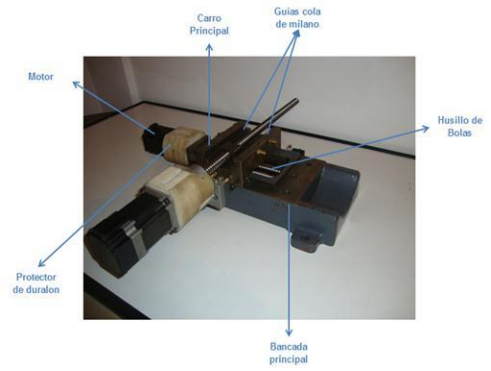


Figura 16. Ensamble del mecanismo del eje "Y"

C. Implementación del mecanismo de movimiento del eje "Z"

El soporte del cabezal del husillo va ensamblado en el eje "Z" por medio de las guías cola de milano; el movimiento se realiza con el husillo de bolas con su respectiva tuerca acoplada en el cabezal del husillo que no es visible por encontrarse instalada en la parte interior del soporte del cabezal; mientras que el husillo de bolas se encuentra instalado en la columna principal del eje "Z" mediante soportes de rodamientos tanto en su extremo superior como en el extremo inferior, y la transmisión de movimiento del motor se da por un acople flexible como se muestra en la Fig. 17.

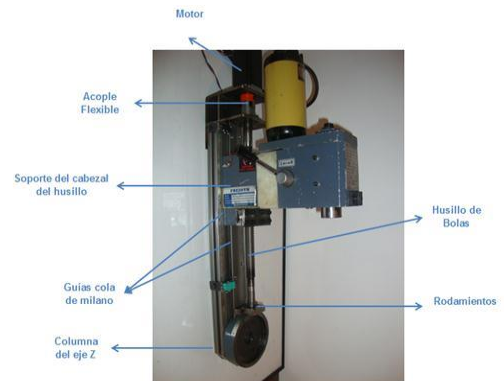


Figura 17. Ensamble del mecanismo del eje "Z"

D. Implementación del mecanismo de movimiento del eje "A"

La mesa rotativa del eje "A" va montado en la estructura del eje "X" en una base de aluminio sólida que está empotrada en el carro principal del eje "X", además en la mesa rotativa se encuentra ensamblada una cuna de aluminio con un soporte de apoyo en su otro extremo que sirve como base para el eje "C"; la transmisión del movimiento del motor se da por un acople flexible, como se muestra en la Fig. 18.

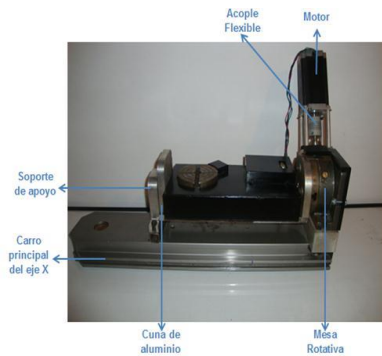


Figura 18. Ensamble del mecanismo del eje "A"

Implementación del mecanismo de movimiento del eje "C"

La mesa rotativa del eje "C" se encuentra montada en una base de metal en conjunto con su sistema de transmisión en la cuna de aluminio de la estructura del eje "A" sujeta con tres pernos M8; la transmisión del movimiento del motor se da por un acople flexible como se muestra en la Fig. 19.

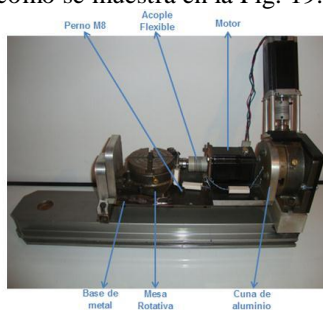


Figura 19. Ensamble del mecanismo del eje "C"

E. Implementación del sistema mecánico completo a la bancada principal.

Todo el sistema mecánico que contiene los ejes X, Y, A y C están acoplados a la bancada principal; mientras que el eje "Z" se encuentra ensamblado en la columna de este eje; estos dos mecanismos en conjunto están empotrados en una estructura de metal con seis pernos y tuercas M8, se implementa una carcasa de tol al prototipo como protección con 6 pernos y tuercas M8, en la Fig. 20 se aprecia toda la implementación mecánica.

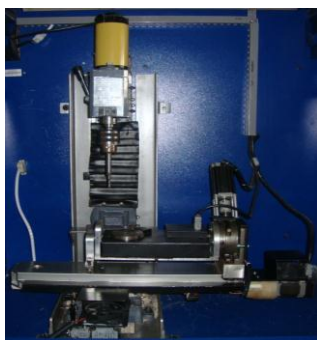


Figura 20. Implementación del sistema mecánico completo.

F. Implementación del sistema de control

1) Finales de carrera:

Los límites de recorrido en las coordenadas X, Y, Z, A, C están controlados mediante software y switches limitadores de carrera, los cuales usan los contactos normalmente cerrados de los mismos que envían una señal en bajo a las tarjetas principales para que detengan el programa, una vez que las plataformas salen de los límites de trabajo.

2) Placas del home con sensores tipo herradura.

Estos dispositivos electrónicos detectan la posición de la plataforma en las coordenadas cero de los ejes X, Y, Z, A, C se detiene el movimiento de los actuadores y permite encerrar la posición de la herramienta en el punto de referencia o Home de la máquina.

3) Caja principal de control para el sistema automático de la fresadora vertical de 5 ejes CNC.

En la caja principal en la parte inferior (Fig. 21) se implementan los siguientes elementos: Transformador (1), fuentes de alimentación de 40VDC-12A (2) 36VDC-12A (3) y de 5VDC (4), cinco tarjetas controladoras para los motores (5), fusibles (6), relés de 110 VAC (7), pulsador de paro de emergencia (8), Selector ON/OFF para el encendido de la máquina (9), en la parte superior tenemos los siguientes elementos: tarjetas principales (10), dos adaptadores DB25 hembra para la interface de la PC con las tarjetas principales (11), luces pilotos (12), tarjeta de variación de velocidad del mandril (13).

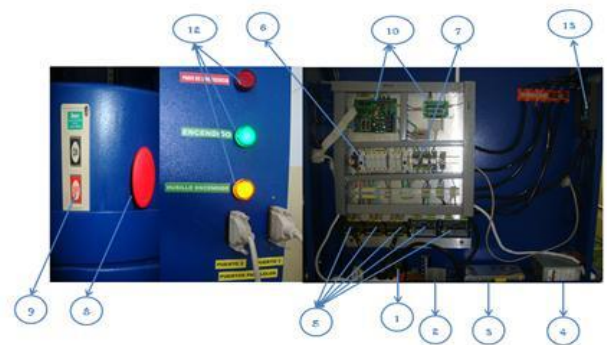


Figura 21. Caja de control Parte interna y externa.

G. Funcionamiento del sistema automático del prototipo.

1) Funcionamiento del sistema mecánico y de control.

Para comprobar el funcionamiento en conjunto del sistema mecánico y el sistema de control del prototipo se realizó pruebas básicas de funcionamiento tales como movimiento de cada eje, encendido y apagado del husillo, posicionamiento de cada eje según valores insertados en el software, variación de velocidad del husillo, puesta a home de todos los ejes. Obteniendo resultados favorables y aceptables.

2) Pruebas para el fresado posicional en 4 ejes.

Se procedió a realizar cinco hexágonos en un eje de duralon de 27mm de diámetro, la longitud de los lados del hexágono será de 13mm y una altura de 10mm para poder determinar la

resolución y precisión de la máquina se realiza la medición de cada uno de los lados de los cinco hexágonos, como se observa en la Fig. 22.

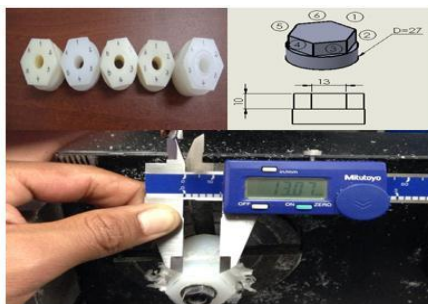


Figura 22. Mediciones en la prueba de fresado.

3) Pruebas de taladrado posicional en 5 ejes.

Para un mayor análisis se realiza un ciclo de taladrado en cada una de las caras de cinco hexágonos diferentes, con las dimensiones que se observa en la Fig. 23, con ayuda de un reloj comparador se determinara la precisión del eje "C", para ello el reloj comparador se encuentra fijo al cabezal del eje "Z" y ubicado siempre a una misma altura y posición dentro del agujero del ciclo de taladrado para cada uno de los seis agujeros, si existiera una lectura en el reloj comparador se corrige esta lectura mediante el desplazamiento del eje "C" por software y se obtiene el error en grados del eje "C".

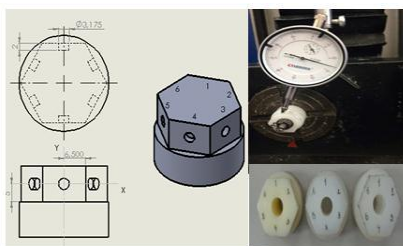


Figura 23. Dimensiones para el ciclo de taladrado.

4) Pruebas de fresado simultáneo en 5 ejes.

Las mediciones de precisión y resolución en el eje rotativo "A" se realizan en un mecanizado simultáneo y sus medidas se tomaron con un reloj comparador, como se observa en la Fig. 24, para ello el reloj comparador se encuentra fijo al cabezal del eje "Z" y ubicado siempre a una misma altura y posición en los diferentes puntos del mecanizado, si existiera una lectura en el reloj comparador se corrige esta lectura mediante el desplazamiento del eje "A" por software y se obtiene el error en grados del eje "A".



Figura 24. Medidas tomadas con el reloj comparador.

H. Resultados y análisis de resultados.

1) Cálculo de la resolución de la máquina.

El cálculo de la resolución del prototipo de Fresadora Vertical CNC de 5 ejes, se calcula independientemente para cada eje con la siguiente ecuación:

$$R = p / \text{ppu} \quad (10)$$

En donde p es el paso del tornillo de bolas implementado en cada eje, y ppu son los pasos por unidad de cada eje. El valor del paso del tornillo es de 5 y corresponde al husillo seleccionado y el valor de paso por unidad es 400 ppu este valor asocia a los pasos que debe dar el motor para obtener una revolución del eje. Se tiene que:

$$R = 5 / 400 = 0.0125$$

2) Cálculo de la precisión de la máquina.

La precisión para cada uno de los ejes "X", "Y" y "Z" se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = R \pm J \quad (11)$$

Donde R es la precisión ya obtenida, y J se refiere al juego axial de los tornillos de bolas e igual a 0,01 mm valor obtenido de los datos técnicos del husillo seleccionado, entonces tenemos el juego igual para los ejes principales "X", "Y", "Z".

Según estas condiciones la máquina como fresadora de tres ejes tendrá una precisión igual a:

$$P_{3\text{ejes}} = (0.0125 + 0.03) \text{ mm} = 0.043 \text{ mm}$$

Mientras que para los ejes rotativos "A" y "C" con un juego en la mesa rotativa de 0.05 ° se tiene una precisión de:

$$P_{2\text{ejes}} = (0.05 + 0.05) ^\circ = 0.1 ^\circ$$

5) Resultados y análisis de resultados para el fresado posicional de 4 ejes.

TABLA II. MUESTRAS DEL FRESADO DE 4 EJES.

Fresado						
No. Muestras	Medidas tomadas					
	Lado 1 mm	Lado 2 mm	Lado 3 mm	Lado 4 mm	Lado 5 mm	Lado 6 mm
1	13.07	12.95	13.08	12.97	13.03	12.97
2	13.08	12.98	13.05	12.99	13.04	12.95
3	12.99	13.05	13.03	13.05	13.06	13.06
4	13.02	13.07	13.06	13.03	13.09	13.02
5	13.03	13.06	12.98	13.07	13.08	13.06
Promedio	13.038	13.022	13.04	13.022	13.06	13.012
Promedio total	13.0323					

Los resultados de esta medición dieron valores críticos para el lado # 6 de nuestro elemento mecanizado y que lo observamos en la Fig. 25.

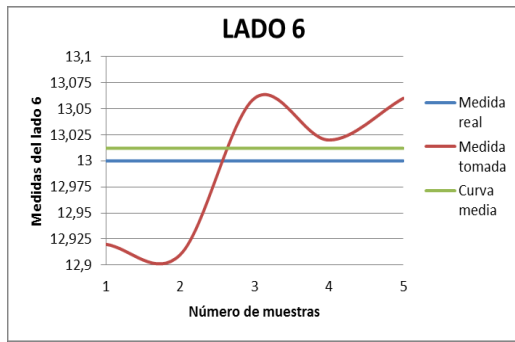


Figura 25. Medición del lado #6

De la Fig. 25 se puede concluir que al comparar la medida real con las medidas de muestreo y la curva media, el lado seis de la muestra 2 presenta una variación máxima. Luego de realizar los cálculos de los promedios y promedio total de la tabla II se puede determinar que la resolución y precisión son iguales y con un valor de 0.0323mm, esto quiere decir que la máquina está dentro de los parámetros de diseño.

6) Resultados y análisis del taladrado posicional en 5 ejes.

TABLA III. MUESTRAS DEL CICLO DE TALADRADO.

No.	Ciclo de Taladrado					
	Medidas tomadas					
Muestras	0°-60° (°)	60°-120° (°)	120°-180° (°)	180°-240° (°)	240°-300° (°)	300°-360° (°)
1	0,5	0,51	0,40	0,20	0,45	0,41
2	0,39	0,31	0,65	0,50	0,34	0,40
3	0,36	0,41	0,39	0,29	0,50	0,51
4	0,40	0,35	0,58	0,38	0,39	0,52
5	0,47	0,38	0,49	0,41	0,44	0,42
Promedio	0,424	0,392	0,502	0,356	0,424	0,452
Promedio total	0,425					

Con los datos de la tabla III se realiza el siguiente gráfico estadístico:

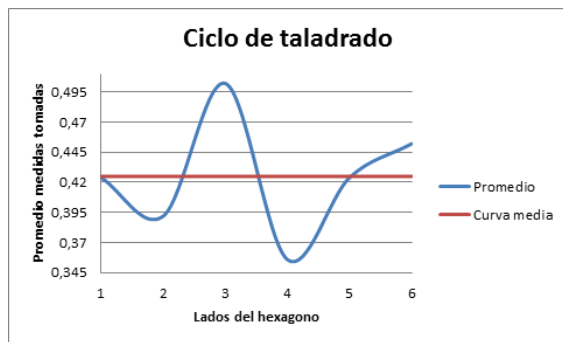


Figura 26. Medición de 0° a 360° en el ciclo de taladrado.

De los datos obtenidos en la tabla III, luego de realizar los cálculos del promedio y el promedio total se puede concluir que este prototipo presenta una resolución de 0.425°, y como podemos observar en la Fig. 26 en las muestras 3 y 5 se puede observar que existe una mayor variación y si se toma esos valores se observará que la precisión es de 0.146°. Para mejorar

la resolución del prototipo se debe sustituir la mesa rotativa actual por otra de mejores características.

7) Resultados y análisis de resultados del fresado secuencial con 5 ejes.

La tabla IV muestra los datos de las mediciones tomadas en los diferentes puntos del mecanizado secuencial con cinco ejes.

TABLA IV. DATOS DE LAS MEDICIONES TOMADAS

No.	Fresado Simultáneo					
	Medidas tomadas					
	0°-15° (°)	0°-30° (°)	0°-45° (°)	0°-60° (°)	0°-75° (°)	0°-90° (°)
1	0,028	0,05	0,019	0,045	0,030	0,025
2	0,015	0,055	0,020	0,040	0,035	0,035
3	0,02	0,045	0,025	0,050	0,040	0,045
4	0,025	0,059	0,015	0,040	0,030	0,050
Promedio	0,022	0,0522	0,0198	0,0438	0,0338	0,0325
Promedio total	0,034					

Con los datos de la tabla IV se realiza el siguiente gráfico estadístico:

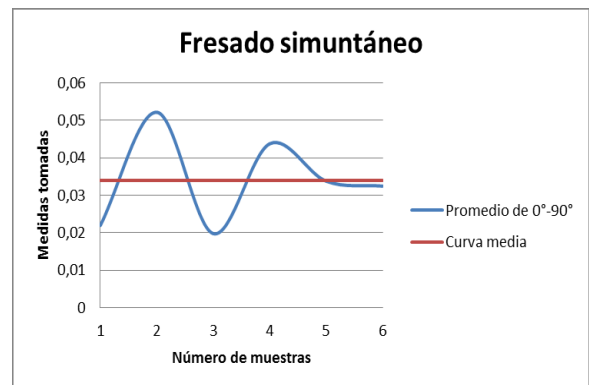


Figura 27. Mediciones de 0° a 90°

De los datos obtenidos en la tabla IV, luego de realizar los cálculos del promedio y promedio total se puede concluir que este prototipo presenta una resolución y precisión de 0.034° para el eje "A". En la Fig. 27 se observa que en las muestras 1 y 2 existe una mayor variación y conforme se aumenta el número de muestras esta variación va disminuyendo. Para mejorar la resolución del prototipo se debe sustituir la mesa rotativa actual por otra de mejores características.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. conclusiones:

Se diseñó y construyó un Prototipo de Centro de Mecanizado Vertical CNC de 5 ejes para el laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas-Espe Extensión Latacunga, partiendo de un prototipo de fresadora vertical de 3

ejes y con la ayuda de las máquinas CNC existentes en el laboratorio.

Para el diseño mecatrónico se recopiló información sobre el funcionamiento y operación de fresadoras y prototipos de fresadoras de 5 ejes de Control Numérico Computarizado, siendo posible el contacto con algunas personas del extranjero de páginas web como Hossmachine de EE.UU y Alex-Portaherramientas de España.

Se diseñó el sistema: mecatrónico con los parámetros de funcionamiento planteados para el prototipo y con ayuda de software de diseño SolidWorks 2012 se pudo realizar análisis de esfuerzos estáticos y ver las propiedades físicas de los elementos mecánicos del prototipo.

Se seleccionó los elementos para el sistema: mecatrónico dependiendo de los valores de cálculo del diseño, la manufactura existente en el mercado y el costo de los elementos siendo estos muy elevados en el mercado nacional por lo que se optó por adquirirlos en el extranjero a un precio razonable.

Se implementó el sistema de control para gobernar los actuadores acoplados a cada eje de movimiento del prototipo, siendo este en lazo abierto debido a que se utilizaron motores a paso con drivers de gran precisión.

El control de la máquina se lo realizó mediante software (Mach3), el mismo que trabaja conjuntamente con dos tarjetas principales (Combo Board) (DB25); debido a sus bajos costos para satisfacer las necesidades del diseño del prototipo de fresadora vertical CNC de 5 ejes, obteniendo a la final un HMI.

Se realizaron pruebas de funcionamiento y mecanizado para analizar los resultados y encontrar valores de resolución y precisión de prototipo, Obteniendo los siguientes resultados: en un fresado de 4 ejes la resolución y precisión son iguales a 0.0323mm, en tanto que para los ejes rotativos para un fresado de 5 ejes estos valores cambian; para el eje "C" la resolución es de 0.425° y una precisión de 0.146°, y el eje "A" presenta una resolución y precisión igual a 0.034°.

Con la implementación de este sistema automático de Fresadora vertical CNC de 5 ejes, los docentes y estudiantes de las diferentes carreras de la ESPE-L, pueden hacer uso de la máquina en el Laboratorio CNC, para prácticas relacionadas con las asignaturas de FMS y CAD/CAM, con el fin de que puedan lograr una mayor comprensión acerca de este tema.

B. Recomendaciones:

Implementar un cambio automático de herramientas.

Implementar un controlador por hardware de 5 ejes para el presente prototipo de fresadora vertical CNC.

Cambiar las mesas rotativas actuales por otras de mayor resolución y precisión para obtener mejores resultados en el mecanizado de piezas complejas.

En proyectos a gran escala se recomienda utilizar un controlador que sea hardware ya que en software se puede producir interferencia en la comunicación.

Reemplazar la tarjeta controlado combo board rev.5 con la finalidad de corregir errores en la velocidad del husillo.

Verificar de forma regular los parámetros de configuración o calibración del fresadora vertical CNC de 5 ejes dentro del software Mach3 sección 4.2.4, con el fin de arreglar algún tipo de desconfiguración que se haya dado, además para obtener los mejores resultados de mecanizado posibles.

Antes de operar la máquina se deben conocer sus características técnicas, tales como: recorridos de los ejes, velocidades máximas del husillo, materiales que se pueden mecanizar, etc., para lo cual se recomienda leer primero el manual de operación del mismo que se encuentra en el ANEXO J.

Se recomienda seguir las normas de seguridad tanto para la máquina como para el operario, antes, durante y después del mecanizado, ya que la máquina aunque es un prototipo puede causar lesiones por quemaduras o corte, además ayuda al operario para que se acostumbre al momento de utilizar una máquina a nivel industrial.