

Método genérico de programación para máquinas herramientas de 3 ejes con control numérico computarizado (CNC)

Generic method to programming numerically controlled machine tool with three axis

HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, Leticia †*, GARCÍA-VANEGAS, Leopoldo, HERNÁNDEZ-BORJA, Carlos y PÉREZ-GALINDO, Liliana Eloisa

Universidad Tecnológica Fidel Velázquez, División Académica de Mantenimiento Industrial y Mecatrónica

ID 1^{er} Autor: *Leticia, Hernández-Ramírez* / ORC ID: 0000-0002-0150-3457, Researcher ID Thomson: S-4815-2018, arXiv ID: lhdezram.

ID 1^{er} Coautor: *Leopoldo, García-Vanegas* / ORC ID: 0000-0002-3417-7619, Researcher ID Thomson: T-6825-2018, arXiv ID: leo_1968aaa

ID 2^{do} Coautor: *Carlos, Hernández-Borja* / ORC ID: 0000-0002-8138-9016, Researcher ID Thomson: S-4792-2018, arXiv ID: carloshdezborja

ID 3^{er} Coautor: *Liliana Eloisa, Pérez-Galindo* / ORC ID: 0000-0001-6016-2595, Researcher ID Thomson: S-4820-2018, arXiv ID: Eloisse

Recibido: Enero 08, 2018; Aceptado: Marzo 07, 2018

Resumen

Las Universidades Tecnológicas han incluido asignaturas en sus programas educativos que implican el uso de máquinas herramienta con control numérico computarizado (CNC). Estas máquinas, como los centros de maquinado de 3 ejes, son programables y utilizan herramientas con filos cortantes para la manufactura de gran número de piezas producidas por lote, moldes y troqueles. Este trabajo explica un método de enseñanza para programar máquinas herramienta basado en el estándar ISO 6983. Su ventaja principal es permitir al programador identificar las sintaxis a utilizar en la trayectoria de corte, sin importar la marca y el tipo de control de la máquina. El método combina el sistema cartesiano rectangular de coordenadas absoluta y el sistema cartesiano rectangular de coordenadas relativas, mediante el uso de dos sintaxis para crear trayectorias de corte con movimientos circulares, ya sea usando la magnitud del radio del círculo o de sus coordenadas centrales, obteniéndose seis estructuras ordenadas de programación. Una programación ordenada permitirá que los programas sean fácilmente mantenibles, se vuelvan escalables y su depuración sea más sencilla. Estas características evitarán lesiones en el operador, daños a la maquinaria y altos costos por servicios de reparación.

Manufactura, CNC, Programación, Sintaxis

Abstract

Technological Universities have included subjects in their educational programs which involve the use of Numerically Controlled Machine Tool (NCMT). These machines like three axis machining centers are programmable and use tools with cuttings edges for the manufacturing a lot of pieces produced per batch, molds and die. This work explains a teaching method to program Numerically Controlled Machine Tool, which is based in standard ISO 6983. Its main advantage is to permit to the programmer identify syntax to create toolpath cut, regardless control's type and machine's brand. Method combines the rectangular cartesian system of absolute coordinates and rectangular cartesian system of relative coordinates through to use two syntax to create toolpaths cut with circular movements either it using radius magnitude or circle's central coordinates, obtaining six ordered structures of programming. Ordered programming will let that programs will be easily maintainable, become scalable and simplify their depuration. These characteristics avoid personal injury, damage to the machinery and high costs associated with services repair.

Manufacturing, CNC, Programming, Syntax

Citación: HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, Leticia, GARCÍA-VANEGAS, Leopoldo, HERNÁNDEZ-BORJA, Carlos y PÉREZ-GALINDO, Liliana Eloisa. Método genérico de programación para máquinas herramientas de 3 ejes con control numérico computarizado (CNC). Revista de Tecnologías Computacionales. 2018, 2-5: 18-29.

* Correspondencia del Autor (Correo Electrónico: lhdezram@yahoo.com.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Una máquina-herramienta (MH) empleada en procesos de arranque de viruta, es un conjunto de mecanismos impulsado por fuerza motriz para el corte de metales y otros materiales.

El corte se realiza con una herramienta de n filos que remueve capas de un bloque de material hasta obtener una configuración geométrica diferente a la que tenía antes de iniciar.

Este proceso se realiza actualmente en dos tipos de máquinas-herramienta:

- a) Las convencionales donde el operador es el responsable de los desplazamientos de los ejes de la máquina y de otras tareas como el ajuste de piezas y herramientas. De su habilidad depende la precisión de las piezas.
- b) Las que integran un dispositivo de control numérico computarizado (CNC) capaz de controlar todas las acciones de la MH a través de un programa; incluidos los desplazamientos de los ejes, el cambio automático de herramientas y piezas y la activación de dispositivos auxiliares como la bomba de refrigerante, el dispensador de lubricante, entre otros.

Las máquinas herramientas (MH) con control numérico computarizado (CNC) representan en México, la plataforma tecnológica de una gran cantidad de micro y pequeñas empresas dedicadas a la fabricación de piezas para maquinaria y equipo en general, debido a que con un sólo programa es posible fabricar lotes de piezas con precisión estandarizada, que serán utilizadas como parte de un sinnúmero de mecanismos que van desde la cerradura para puerta, llaves para agua hasta maquinaria de gran complejidad como los automóviles.

Asimismo con las CNC empleadas para operaciones de fresado y torneado es posible el maquinado de geometrías complejas que son la base para la fabricación de moldes y troqueles, herramientas fundamentales de los procesos de corte o doblado de lámina e inyección de plástico y otros materiales.

Justificación

Cuando se enseña programación para controles numéricos, es muy importante tener la conciencia de que a pesar de que todos los controles se basan en un estándar ISO, ningún control numérico es exactamente igual a otro.

Asimismo, es indispensable considerar que el trabajo con máquinas herramientas es una actividad que implica una gran cantidad de riesgos tanto para el que opera y/o programa la MHCNC como para la máquina, que van desde un simple golpe o pequeña cortadura hasta la pérdida de un ojo por incrustación de una viruta.

En lo que se refiere a la máquina, el riesgo principal es el desajuste del cabezal, que pudiera ser ocasionada por el desconocimiento del que opera o por un código mal empleado o con sintaxis incorrecta en el programa, lo que implica un gasto innecesario por reparación que va desde el 5% hasta el 10% del valor de una MHCNC nueva.

El docente para evitar estos riesgos comúnmente hace uso de simuladores computacionales, que desde un punto de vista muy particular limitan el aprendizaje y no permiten que la competencia práctica específica se desarrolle en el estudiante, situación que impacta directamente en el entorno productivo de la región cuando éste realiza su estadía o desempeña un trabajo relacionado con el uso de este tipo maquinaria, por lo que es indispensable que el que enseña lo haga con orden, considerando los posibles riesgos y la responsabilidad social que ello implica.

Por lo que se hace indispensable desarrollar prácticas en laboratorio que sean “una herramienta metodológica efectiva que permita a los estudiantes fijar e integrar los conocimientos con la práctica con la finalidad de enfrentar problemáticas similares a las que encontrarán en su vida profesional” (Guaman Alarcon & Camacho Camacho, 2009).

Metodología

La metodología propuesta se apoya en los siguientes elementos: el tipo de información requerida para programar una máquina herramienta CNC con tres ejes para operaciones de fresado, la estructura del programa, la secuencia de movimientos que debe realizar la máquina, el sistema de coordenadas (absoluto y relativo) y las sintaxis que aplican a los movimientos para posicionamiento y corte de la herramienta sobre la pieza de trabajo.

1. Información requerida para la programación de una máquina CNC de 3 ejes

Existen tres tipos de información requerida para la programación de máquinas CNC (González Núñez, 1990):

La *información geométrica* que corresponde esencialmente a:

- Las dimensiones de la pieza a maquinar, delimitando los movimientos en los ejes X, Y y Z (largo, ancho y alto) para el maquinado y que permiten el establecimiento de la posición cero pieza.
- Las longitudes de desplazamiento máximo de los ejes de la máquina.
- Las longitudes de herramienta como el largo total, el largo de corte y su diámetro.

La *información tecnológica* que depende del material con que se va a fabricar la pieza y partir del cual se selecciona la herramienta de corte y se calculan la velocidad de avance (F), la velocidad de rotación de la herramienta(S) y la profundidad de corte.

La *información de movimiento* que corresponde a la secuencia de las operaciones de corte.

2. Estructura de un programa de control numérico

Independientemente del tipo de control numérico que tenga adaptada la máquina herramienta, un programa de control numérico tiene tres elementos:

Encabezado. En los primeros bloques (renglones de instrucciones), se definen con palabras (códigos) las condiciones iniciales del programa, como el sistema de coordenadas inicial (comúnmente absoluto G90), el sistema de unidades (milímetros o pulgadas), plano de trabajo, ubicación del cero pieza y se definen códigos de cancelación de funciones que pudieran mantenerse activas en la memoria del control de la máquina herramienta, como la compensación de radio y la cancelación de ciclos de barrenado. En esta sección también se define la herramienta inicial, su sentido de giro, las revoluciones por minuto a las que girará, la activación del refrigerante, entre otras acciones.

Cuerpo del programa. Corresponde a las trayectorias de posicionamiento y corte de la pieza; y en su definición se utilizan los sistemas de coordenadas absoluto y relativo.

En el *sistema absoluto (G90)*, las coordenadas se definen tomando como referencia un cero único ubicando su posición cero en los ejes XY al centro de la pieza de trabajo y en el eje Z, en su cara superior. A esta posición se le denomina *cero pieza*.

En el *sistema relativo (G91)*, las coordenadas se definen tomando como referencia la última posición que se utilizó.

Para la definición de la trayectoria se utilizan principalmente dos tipos de movimientos o interpolaciones: *lineales* (G00 y G01) y *circulares* (G02 y G03).

Para una máquina-herramienta de 3 ejes como un centro de maquinado vertical, las sintaxis para estos 4 movimientos se describen y analizan a continuación:

- a) La palabra G00 es utilizada para posicionamiento rápido de la herramienta, sin corte de la pieza.

Sintaxis G00 X__ Y__ Z__;

Donde

X, Y, Z corresponden a los valores de las coordenadas de la posición que se desea alcanzar con el movimiento.

Es importante considerar que:

- Cuando se emplee la palabra G00, las posiciones inicial y final se determinan en sistema absoluto, lo que evitará colisiones entre la herramienta y la pieza.
 - Las máquinas herramientas dependiendo de la antigüedad de su control permiten de diversas maneras, la variación de la velocidad a la que se realiza este movimiento. Sin embargo, éste se considera como movimiento rápido y de su empleo depende en gran medida el tiempo de fabricación de la pieza teniendo mayor impacto cuando se realiza por lote.
- b) La palabra G01 es utilizada para corte en trayectoria lineal con velocidad controlada de los ejes.

Sintaxis G01 X__ Y__ Z__ F__;

Donde

X, Y, Z corresponden a los valores de las coordenadas de la posición que se desea alcanzar con el movimiento.

F es la velocidad de avance o alimentación de los ejes.

Es importante considerar que:

- Es deseable que se emplee un G01 para el primer corte en el eje Z.

- c) Las palabras G02 y G03 son utilizadas para corte en trayectoria circular con velocidad controlada de los ejes. La palabra G02 se emplea para trayectoria en sentido de las manecillas del reloj y la G03 para trayectoria contraria a este sentido. Dependiendo el tipo de control, en ambas palabras es posible utilizar dos sintaxis.

Sintaxis 1. Con magnitud del radio del arco o círculo

G02 X__ Y__ R__ F__;

Donde

X, Y corresponden a los valores de las coordenadas de la posición que se desea alcanzar con el movimiento.

R corresponde al valor del radio del arco o círculo.

F es la velocidad de avance o alimentación de los ejes.

Es importante considerar que:

- Se emplean las coordenadas X, Y cuando el plano de corte principal corresponde a la vista superior de la pieza de trabajo. En algunos controles se determina este plano de corte a través de la palabra G17.

- La sintaxis en función del valor del radio es la más antigua para este tipo de movimientos, encontrándose descrita en la primera versión del estándar ISO publicada en el año de 1982, por lo que los controles que se fabricaron de esta fecha hasta que aparece la segunda versión en el año 2009, sólo empleaban esta sintaxis, con las siguientes restricciones o variantes:

- 1) Para trayectorias circulares con ángulo menor o igual a 180 grados
- 2) Para trayectorias circulares con ángulo menor a 360 grados; con R (en valor absoluto), cuando el ángulo del arco es menor o igual a 180 grados y con R - (con valor negativo para el radio) cuando el ángulo es mayor a 180 y menor a 360 grados.

Sintaxis 2. Con posición central del arco o círculo

G02 X__ Y__ I__ J__ F__;

Donde

X, Y corresponden a los valores de las coordenadas de la posición que se desea alcanzar con el movimiento

I, J corresponden a los valores de las coordenadas en los ejes X, Y de la posición del centro del arco o círculo.

F es la velocidad de avance o alimentación de los ejes.

Es importante considerar que:

- Se emplean las coordenadas I, J cuando el plano de corte principal corresponde a la vista superior de la pieza de trabajo.

- Esta sintaxis se empieza a incluir en los controles hasta que aparece la segunda versión del estándar ISO 6983 (2009).

- Además proporciona una gran ventaja sobre la programación que utiliza el valor del radio, debido a que con ella es posible programar una trayectoria circular completa en un solo bloque (renglón) de instrucciones y en el caso de la sintaxis con el valor del radio es necesario utilizar como mínimo 2 bloques.

Comentarios adicionales en el caso de los movimientos para corte:

- Es indispensable la colocación del punto decimal en valores que no tienen posiciones decimales.

- Las palabras G00 al G03, pueden utilizarse sin el cero intermedio.

- El valor de la velocidad de avance (F) dependiendo el tipo de control puede establecerse en dos unidades: mm o pulgadas/minuto o en mm o pulgadas/vuelta.

- El valor de la velocidad de avance (F) debe calcularse porque depende del tipo de material a mecanizar y el tipo de herramienta de corte.

Fin de programa. Se restablecen las condiciones iniciales de trabajo, como la detención del giro de la herramienta o pieza, lo que depende del proceso de maquinado, la desactivación de la bomba de refrigerante, se cancela compensación de radio y/o altura, se cancelan ciclos y se establece el fin de programa.

3. Secuencia de movimientos en centro de maquinado vertical de 3 ejes

Se define a través de las posiciones iniciales, intermedias y finales que deben tener tanto la herramienta como la pieza con el propósito de evitar colisiones que dañen el cabezal de la máquina y ruptura de herramienta y dentro de la estructura del programa *corresponden al cuerpo del programa.*

Posiciones iniciales. Al realizar un programa para un centro de maquinado vertical es importante definir dos posiciones iniciales de seguridad en el eje Z que corresponde a la herramienta de corte:

- A la altura donde se encuentra el carrusel de herramientas para facilitar el cambio de herramienta inicial.

- En un valor cercano a la superficie de la pieza (punto de seguridad), posición que servirá para iniciar un corte con velocidad controlada.

Estas posiciones pueden y deben ser programadas con el código G00.

Posiciones intermedias. Estas posiciones deben ser programadas con códigos G01, G02 Y G03, debido a que con ellas se efectúan los cortes en la pieza de trabajo a una velocidad controlada (F).

Si se va a programar con sistema relativo (G91) éste se activará en la posición absoluta donde Z es igual a cero, que corresponde a la cara superior de la pieza de trabajo; tomando en cuenta que para llegar ella desde el punto de seguridad es recomendable utilizar el código G01, lo que evitará una colisión en caso de que la superficie sea irregular.

Posiciones finales. Una vez que se termina el corte de la pieza es importante definir dos posiciones finales, considerando el sistema de coordenadas en que se realizó y la profundidad final del corte.

Si el sistema es absoluto y la profundidad final es muy cercana a la altura de corte de la herramienta, es recomendable que se emplee el código G00 y si la profundidad es cercana a la altura de corte de la herramienta es recomendable que se emplee G01 porque permite controlar la velocidad de retracción y evita tracción en caso de que la viruta tenga forma de espiral.

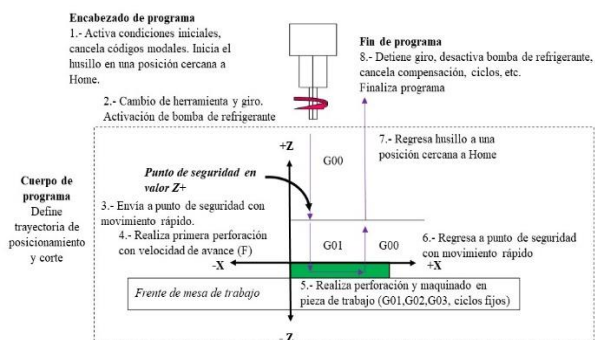


Figura 1 Esquema que combina estructura del programa con secuencia de programación

Fuente: Propia

4. Estructuras de programación resultantes

Si se combinan la estructura de programación y la secuencia de movimientos para máquinas de 3 ejes sincronizables, considerando que las posiciones iniciales y finales deben calcularse en sistema de coordenadas absoluto, las posiciones intermedias en sistema absoluto o relativo, empleando movimientos circulares con dos sintaxis de programación es posible generar 6 estructuras que se muestran en la Tabla 1.

Sistema de corte	Sistema de posicionamiento inicial y final	Sintaxis para arcos y/o círculos	Sistema de coordenadas para el centro de círculo	Inconvenientes	
1	Absoluto	Absoluto	R (Radio), arcos menores o iguales a 180 grados*	No aplica	Se requieren al menos 2 bloques de instrucciones para un movimiento circular de 360° * En algunos controles sólo aplica a movimientos menores a 180°
2	Absoluto	Absoluto	R (Radio), donde R+ para arcos cuyo ángulo es ≤180° R- para arcos cuyo ángulo es >180° y <360	No aplica	Se requieren al menos 2 bloques de instrucciones para un movimiento circular de 360°
3	Absoluto	Relativo	R (Radio), donde R+ para arcos cuyo ángulo es ≤180° R- para arcos cuyo ángulo es >180° y <360	No aplica	
4	Absoluto	Relativo	Coordenadas centro (I,J)	Relativo	
5	Absoluto	Absoluto	Coordenadas centro (I,J)	Relativo	
6	Absoluto	Absoluto	Coordenadas centro (I,J)	Absoluto	Modificación en encabezado p. ej. en Control Boss se agrega G75 o en bloque de instrucciones p. ej. en Control Fagor se agrega G6 al principio del bloque

Tabla 1 Características de las 6 estructuras de programación genérica para máquinas CNC de 3 ejes.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se detalla un ejemplo con las 6 estructuras descritas en la Tabla 1. La secuencia programada corresponde a dos trayectorias de corte de ranuras a una profundidad de 0.020”, sin compensación de radio, con una herramienta de 2 filos de 1/8” de diámetro en un bloque de material de 4x4x1”.

Estructura 1. Sistema de coordenadas absoluto para posicionamientos inicial, corte (intermedias) y final, empleando la sintaxis basada en R≤180° para movimientos circulares.

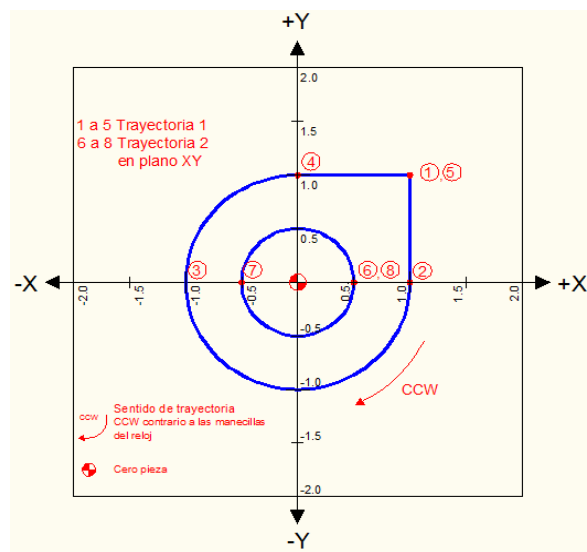


Figura 2 Plano XY con secuencia de puntos que identifican la trayectoria de posicionamiento y corte para la estructura 1 de programación CNC

Fuente: Elaboración propia

Sistema	No. punto	X	Y	Z	R	Restricción
Absoluto	1	1	1			
Absoluto	2	1	0			
Absoluto	3	-1	0		1	Arco ≤180°
Absoluto	4	0	1		1	Arco ≤180°
Absoluto	5	1	1			
Absoluto	6	.5	0			
Absoluto	7	-.5	0		0.5	Arco ≤ 180°
Absoluto	8	.5	0		0.5	Arco ≤ 180°

Tabla 2 Posiciones en el plano XY para la estructura 1 de programación CNC

Fuente: Elaboración propia

;(SISTEMA ABSOLUTO PARA POSICIONAR)
 ;(SISTEMA ABSOLUTO PARA CORTE)
 ;(SINTAXIS CON RADIO PARA ARCOS Y CIRCULOS)
 ;(R+ para arcos ≤ 180 grados)

;(INICIA ENCABEZADO)
 N10 G90 G70 G17 G54 G94 G80 G40
 N20 M6 T1; (HTA D=, 1.25INCH H=1INCH)
 N30 M3 S1500; (GIRO HTA)
 N40 M8; (ACTIVACIÓN DE REFRIGERANTE)
 ;(TERMINA ENCABEZADO)

;(INICIA TRAYECTORIA POSICIONAMIENTO Y CORTE)
 N50 G0 X1. Y1.; (1, INICIO CONTORNO EXTERIOR)
 N60 Z1.;(BAJA HERRAMIENTA A PTO DE SEGURIDAD)

```

N70 G1 Z-0.020 F3.; (PERFORA EN PUNTO 1)
N80 X1. Y0.; (2)
N90 G2 X-1. Y0. R1.; (3 ARCO DE 180 GRADOS)
N95 G2 X0. Y1. R1.; (4 COMPLEMENTO ARCO 270 GRADOS)
N100 G1 X1. Y1.; (5)
N110 G0 Z1.;(SUBE HERRAMIENTA A PUNTO DE SEGURIDAD)
N120 X0.5 Y0.; (6, INICIO DE CIRCULO INTERIOR)
N130 G1 Z-0.020 F3.;(PERFORA EN PUNTO 6)
N140 G2 X-0.5 Y0. R0.5; (7, ARCO DE 180 GRADOS)
N150 X0.5 Y0. R0.5; (8, ARCO DE 180 GRADOS)
N160 G0 Z1.;(SUBE HERRAMIENTA A PUNTO DE SEGURIDAD)
;(TERMINA TRAYECTORIA DE CORTE)

;(FIN DE PROGRAMA)
N170 M9
N180 M5
N190 M30

```

Estructura 2. Sistema de coordenadas absoluto para posicionamientos inicial, corte (posiciones intermedias) y final, empleando la sintaxis basada en R positivo $\leq 180^\circ$ y R negativo para arcos $< 360^\circ$ para movimientos circulares.

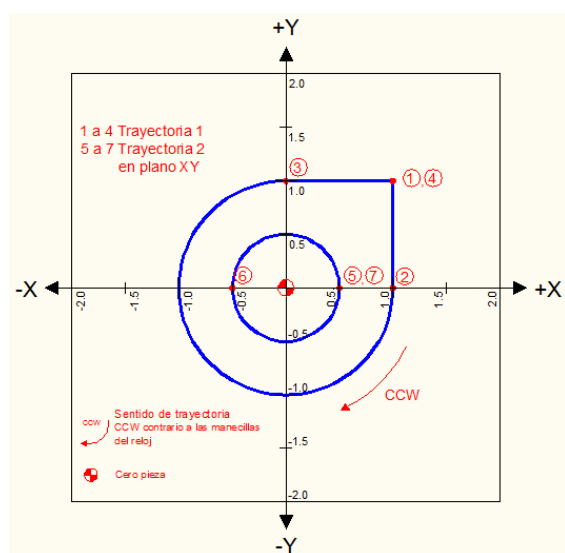


Figura 3 Plano XY con secuencia de puntos que identifican la trayectoria de posicionamiento y corte para las estructuras 2 y 3 de programación CNC

Fuente: Elaboración propia

Sistema	No. punto	X	Y	Z	R	Restricción
Absoluto	1	1.0	1.0			
Absoluto	2	1.0	0			
Absoluto	3	0	1.0	-1.0		Arco $> 180^\circ$ y $< 360^\circ$
Absoluto	4	1.0	1.0			
Absoluto	5	0.5	0			
Absoluto	6	-0.5	0	0.5		Arco $\leq 180^\circ$
Absoluto	7	0.5	0	0.5		Arco $\leq 180^\circ$

Tabla 3 Posiciones en el plano XY para la estructura 2 de programación CNC

Fuente: Elaboración propia

```

;(SISTEMA ABSOLUTO PARA POSICIONAR)
;(SISTEMA ABSOLUTO PARA CORTE)
;(SINTAXIS CON RADIO PARA ARCOS Y CIRCULOS)
;(R+ arcos  $\leq 180$  grados)
;(R- arcos  $> 180$  y  $< 360$  grados)

```

ISSN: 2523-6814

ECORFAN@ Todos los derechos reservados

```

;(INICIA ENCABEZADO)
N10 G90 G70 G17 G54 G94 G80 G40
N20 M6 T1.; (HTA D=.125INCH H=1INCH)
N30 M3 S1500.; (GIRO HTA)
N40 M8.; (ACTIVACIÓN DE REFRIGERANTE)
;(TERMINA ENCABEZADO)

;(INICIA TRAYECTORIA POSICIONAMIENTO Y CORTE)
N50 G0 X1. Y1.; (1, INICIO CONTORNO EXTERIOR)
N60 Z1.;(BAJA HERRAMIENTA A PTO DE SEGURIDAD)
N70 G1 Z-0.020 F3.;(PERFORA EN PUNTO 1)
N80 X1. Y0.; (2)
N90 G2 X0. Y1.0 R-1.; (3, ARCO DE 270 GRADOS)
N100 G1 X1. Y1.; (4)
N110 G0 Z1.
N120 X0.5 Y0.; (5, INICIO DE CIRCULO INTERIOR)
N130 G1 Z-0.020 F3.;(PERFORA EN PUNTO 5)
N140 G2 X-0.5 Y0. R0.5; (6, ARCO DE 180 GRADOS)
N150 X0.5 Y0. R0.5; (7, ARCO DE 180 GRADOS)
N160 G0 Z1.;(SUBE HERRAMIENTA A PUNTO DE SEGURIDAD)
;(TERMINA TRAYECTORIA DE CORTE)

;(FIN DE PROGRAMA)
N170 M9
N180 M5
N190 M30

```

Estructura 3. Sistema de coordenadas absoluto para posicionamientos inicial y final, relativo para corte (posiciones intermedias), empleando la sintaxis basada en R positivo $\leq 180^\circ$ y R negativo para arcos $< 360^\circ$ para movimientos circulares.

En esta estructura existe una variación en el posicionamiento del eje Z antes de iniciar el corte con posiciones relativas.

- Se inicia ubicando la herramienta de corte en el punto de seguridad que corresponde a un valor positivo en el eje Z.

- Posteriormente este eje se desplaza a la posición Z0., con un movimiento lineal G01 para controlar la velocidad, lo que tiene dos propósitos:

- Evitar una colisión en una superficie irregular
- Igualar la posición Z0.0 tanto en sistema relativo como absoluto, lo que permitirá calcular sin problema la posición relativa de corte.

- Se activa el código G91 y se programan las posiciones de corte en sistema relativo, incluida la profundidad de éste.

- Una vez que se termina el corte, antes de levantar la herramienta al punto de seguridad es recomendable que se active el código G90, lo que evitará calcular de forma imprecisa la distancia relativa entre la posición en que se encuentra perforando la herramienta de corte y la posición de seguridad y permitirá la reutilización de la trayectoria de corte en subprogramas y subrutinas.

Los puntos de la trayectoria están indicados en la Figura 3.

Sistema punto	No.	X	Y	Z	R	Restricción
Absoluto	1	1.0	1.0			
Relativo	2	0	-1.0			
Relativo	3	-1.0	1.0		-1.0	Arco $>180^\circ$ y $<360^\circ$
Relativo	4	1.0	0			
Absoluto	5	.5	0			
Relativo	6	-1.0	0		0.5	Arco $<180^\circ$
Relativo	7	1.0	0		0.5	Arco $<180^\circ$

Tabla 4. Posiciones en el plano XY para la estructura 3 de programación CNC

Fuente: Elaboración propia

```
;(SISTEMA ABSOLUTO PARA POSICIONAR)
;(SISTEMA RELATIVO PARA CORTE)
;(SINTAXIS CON RADIO PARA ARCOS Y CIRCULOS)
;(R+ arcos <= 180 grados)
;(R- arcos > 180 y < 360 grados)
```

(INICIA ENCABEZADO)

```
N10 G90 G70 G17 G54 G94 G80 G40
N20 M6 T1; (HTA D=.125INCH H=1INCH)
N30 M3 S1500; (GIRO HTA)
N40 M8; (ACTIVACIÓN DE REFRIGERANTE)
;(TERMINA ENCABEZADO)
```

;(INICIA TRAYECTORIA POSICIONAMIENTO Y CORTE)

```
N50 G0 X1. Y1.;(1 INICIO CONTORNO EXTERIOR)
N60 Z1. (BAJA HTA A PUNTO DE SEG EN SIST ABS)
N65 G1 Z0. F3.; (IGUALA Z0 ABS CON Z0 RELATIVO)
N66 G91; (ACTIVA SISTEMA RELATIVO)
N70 G1 Z-0.020 F3. ;(PERFORA EN PUNTO 1)
N80 Y-1.;(2)
N90 G2 X-1. Y1. R-1.;(3 ARCO DE 270 GRADOS)
N100 G1 X1. ;(4)
N105 G90 ;(RETORNA A SISTEMA ABSOLUTO)
N110 G0 Z1. ;(LEVANTA HTA A PTO DE SEG EN SIST ABS)
N120 G0 X0.5 Y0. ;(5 INICIO DE CIRCULO INTERIOR)
N65 G1 Z0. F3. ;(IGUALA Z0 ABS CON Z0 RELATIVO)
N66 G91; (ACTIVA SISTEMA RELATIVO)
N130 G1 Z-0.020 F3. ;(PERFORA EN PUNTO 6)
N140 G2 X-1. Y0. R0.5 ;(6 ARCO DE 180 GRADOS)
N150 X1. Y0. R0.5 ;(7 ARCO DE 180 GRADOS)
N105 G90 ;(RETORNA A SISTEMA ABSOLUTO)
N160 G0 Z1. ;(LEVANTA HTA A PTO DE SEG EN SISTEMA ABS)
;(TERMINA TRAYECTORIA DE CORTE)
```

;(FIN DE PROGRAMA)

```
N170 M9
N180 M5
N190 M30
```

ISSN: 2523-6814

ECORFAN@ Todos los derechos reservados

Estructura 4. Sistema de coordenadas absoluto para posicionamientos inicial y final, relativo para corte (posiciones intermedias), empleando la sintaxis basada en las coordenadas relativas del centro de arco o círculo (I,J).

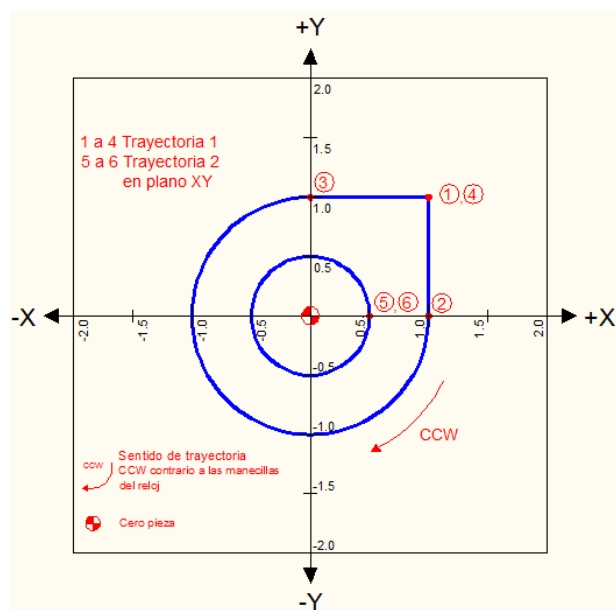


Figura 4 Plano XY con secuencia de puntos que identifican la trayectoria de posicionamiento y corte para las estructuras 4,5 y 6 de programación CNC

Fuente: Elaboración propia

Sistema punto	No.	X	Y	Z	I	J	Restricción
Absoluto	1	1.0	1.0				
Relativo	2	0	-	1.0			
Relativo	3	-	1.0		-	0	Arco de 270°
Relativo	4	1.0	0				
Absoluto	5	0.5	0				
Relativo	6	0	0		-	0	Círculo completo (360°)

Tabla 5 Posiciones en el plano XY para la estructura 4 de programación CNC

Fuente: Elaboración propia

```
;(SISTEMA ABSOLUTO PARA POSICIONAR)
;(SISTEMA RELATIVO CORTE)
;(SINTAXIS I,J ARCOS Y CIRCULOS)
;(SISTEMA RELATIVO PARA COORD I,J)
;(INICIA ENCABEZADO)
N10 G90 G70 G17 G54 G94 G80 G40
N20 M6 T1; (HTA D=.125INCH H=1INCH)
N30 M3 S1500; (GIRO HTA)
N40 M8; (ACTIVACIÓN DE REFRIGERANTE)
;(TERMINA ENCABEZADO)
```

;(INICIA TRAYECTORIA POSICIONAMIENTO Y CORTE)

```
N50 G0 X1. Y1.;(1, INICIO CONTORNO EXTERIOR)
N60 Z1.;(BAJA HERRAMIENTA A PTO DE SEGURIDAD)
N70 G1 Z0. F3.; (IGUALA Z0 ABS CON Z0 RELATIVO)
N80 G91; (ACTIVA SISTEMA RELATIVO)
```

HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, Leticia, GARCÍA-VANEGAS, Leopoldo, HERNÁNDEZ-BORJA, Carlos y PÉREZ-GALINDO, Liliana Eloisa. Método genérico de programación para máquinas herramientas de 3 ejes con control numérico computarizado (CNC). Revista de Tecnologías Computacionales. 2018

N90 G1 Z-0.020 F3.; (PERFORA EN PUNTO 1 EN SIST. REL)
 N100 Y-1.;(2)
 N110 G2 X-1. Y1. I-1. J0.;(3, IJ SON RELATIVAS A 2)
 N120 G1 X1.;(4)
 N130 G90 ; (RETORNA A SISTEMA ABSOLUTO)
 N140 G0 Z1. ;(SUBE HTA A PUNTO DE SEG EN SIST ABS)
 N150 X0.5 Y0. ;(5, INICIO DE CIRCULO INTERIOR)
 N160 G1 Z0. F3.; (IGUALA Z0 ABS CON ZO RELATIVO)
 N170 G91; (ACTIVA SISTEMA RELATIVO)
 N180 G1 Z-0.020 F3.; (PERFORA EN PUNTO 1)
 N190 G2 X0. Y0. I-0.5 J0. ;(6, IJ SON RELATIVAS A 5)
 N200 G90; (RETORNA A SISTEMA ABSOLUTO)
 N210 G00 Z1. ;(SUBE HTA A PUNTO DE SEG EN SIST ABS)
 ;(TERMINA TRAYECTORIA DE CORTE)

;(FIN DE PROGRAMA)
 N220 M9
 N230 M5
 N240 M30

Estructura 5. Sistema de coordenadas absoluto para posicionamientos inicial, corte y final, empleando la sintaxis basada en las coordenadas relativas del centro de arco o círculo. Los puntos de la trayectoria están indicados en la Figura 4.

Sistema	No. punto	X	Y	Z	I	J	Sistema
Absoluto	1	1.0	1.0				
Absoluto	2	1.0	0				
Absoluto	3	0	1.0		-1.0	0	Relativo a punto 2
Absoluto	4	1.0	1.0				
Absoluto	5	0.5	0				
Absoluto	6	0.5	0		-0.5	0	Relativo a punto 5

Tabla 6 Posiciones en el plano XY para la estructura 5 de programación CNC

Fuente: Elaboración propia

;(SISTEMA ABSOLUTO PARA POSICIONAR)
 ;(SISTEMA ABSOLUTO CORTE)
 ;(SINTAXIS I,J ARCOS Y CIRCULOS)
 ;(SISTEMA RELATIVO PARA COORD I,J)

;(INICIA ENCABEZADO)
 N10 G90 G70 G17 G54 G94 G80 G40
 N20 M6 T1; (HTA D=.125INCH H=1INCH)
 N30 M3 S1500; (GIRO HTA)
 N40 M8; (ACTIVACIÓN DE REFRIGERANTE)
 ;(TERMINA ENCABEZADO)

;(INICIA TRAYECTORIA POSICIONAMIENTO Y CORTE)
 N50 G0 X1. Y1.;(1 INICIO CONTORNO EXTERIOR)
 N60 Z1.;(BAJA HERRAMIENTA A PTO DE SEGURIDAD)
 N70 G1 Z-0.020 F3. ; (PERFORA EN PUNTO 1)
 N80 Y0.;(2)
 N90 G2 X0. Y1. I-1. J0.;(3, IJ SON RELATIVAS A 2)
 N100 G1 X1.;(4)
 N110 G0 Z1.;(SUBE HTA A PUNTO DE SEGURIDAD)
 N120 X0.5 Y0.;(5 INICIO DE CIRCULO INTERIOR)
 N130 G1 Z-0.020 F3.; (PERFORA EN PUNTO 5)
 N140 G3 X0.5 Y0. I-0.5 J0.;(6, IJ SON RELATIVAS A 5)
 N150 G0 Z1.;(SUBE HTA A PUNTO DE SEGURIDAD)
 ;(TERMINA TRAYECTORIA DE CORTE)

;(FIN DE PROGRAMA)

N160 M9
 N170 M5
 N180 M30

Estructura 6. Sistema de coordenadas absoluto para posicionamientos inicial, corte y final, empleando la sintaxis basada en las coordenadas absolutas del centro de arco o círculo.

Los puntos de la trayectoria están indicados en la Figura 4.

Los programas con esta estructura requieren códigos especiales para su ejecución en la mayoría de los controles.

Sistema	No. punto	X	Y	Z	I	J	Restricción
Absoluto	1	1.0	1.0				
Absoluto	2	1.0	0				
Absoluto	3	0	1.0		0	0	Arco de 270°
Absoluto	4	1.0	1.0				
Absoluto	5	0.5	0				
Absoluto	6	0.5	0		0	0	Círculo completo (360°)

Tabla 7. Posiciones en el plano XY para la estructura 3 de programación CNC

Fuente: Elaboración propia

;(SISTEMA ABSOLUTO PARA POSICIONAR)
 ;(SISTEMA ABSOLUTO CORTE)
 ;(SINTAXIS I,J ARCOS Y CIRCULOS)
 ;(SISTEMA ABSOLUTO PARA COORD I,J)

;(INICIA ENCABEZADO CONTROL BOSS)
 N10 G90 G70 G17 G54 G94 G75 G80 G40
 ;(G75 ACTIVA MOVS. CIRCULARES MULTICUADRANTE)
 N20 M6 T1; (HTA D=.125INCH H=1INCH)
 N30 M3 S1500; (GIRO HTA)
 N40 M8; (ACTIVACIÓN DE REFRIGERANTE)
 ;(TERMINA ENCABEZADO)

;(INICIA TRAYECTORIA POSICIONAMIENTO Y CORTE)
 N50 G0 X1. Y1.;(1 INICIO CONTORNO EXTERIOR)
 N60 Z1. ;(BAJA HERRAMIENTA A PTO DE SEGURIDAD)
 N70 G1 Z-0.020 F3.; (PERFORA EN PUNTO 1)
 N80 Y0. ;(2)
 N90 G2 X0. Y1. I0. J0.;(3)
 N100 G1 X1. ;(4)
 N110 G0 Z1. ;(SUBE HTA A PTO DE SEGURIDAD)
 N120 X0.5 Y0. ;(5 INICIO DE CIRCULO INTERIOR)
 N130 G1 Z-0.020 F3.; (PERFORA EN PUNTO 5)
 N140 G3 X0.5 Y0. I0. J0.;(6)
 N150 G0 Z1. ;(SUBE HTA A PUNTO DE SEGURIDAD)
 ;(TERMINA TRAYECTORIA DE CORTE)

;(FIN DE PROGRAMA)
 N160 M9
 N170 M5
 N180 M30

;(INICIA ENCABEZADO CONTROL FAGOR)
 N10 G90 G70 G17 G54 G94 G80 G40
 N20 M6 T1; (HTA D=.125INCH H=1INCH)

HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, Leticia, GARCÍA-VANEGAS, Leopoldo, HERNÁNDEZ-BORJA, Carlos y PÉREZ-GALINDO, Liliana Eloisa. Método genérico de programación para máquinas herramientas de 3 ejes con control numérico computarizado (CNC). Revista de Tecnologías Computacionales. 2018

N30 M3 S1500; (GIRO HTA)
 N40 M8; (ACTIVACIÓN DE REFRIGERANTE)
 ;(TERMINA ENCABEZADO)
 ;(INICIA TRAYECTORIA POSICIONAMIENTO Y CORTE)
 N50 G0 X1.Y1.;(1 INICIO CONTORNO EXTERIOR)
 N60 Z1.;(BAJA HTA A PUNTO DE SEGURIDAD)
 N70 G1 Z-0.020 F3.;(PERFORA EN PUNTO 1)
 N80 Y0.;(2)
 N90 G6 G2 X0. Y1. I0. J0.;(3 SE AGREGA G6)
 ;(PARA RECONOCIMIENTO DE SINTAXIS)
 N100 G1 X1.;(4)
 N110 G0 Z1.;(SUBE HTA A PUNTO DE SEGURIDAD)
 N120 X0.5 Y0.;(5 INICIO DE CIRCULO INTERIOR)
 N130 G1 Z-0.020 F3. ;(PERFORA EN PUNTO 5)
 N140 G6 G3 X0.5 Y0. I0. J0.;(6 SE AGREGA G6)
 ;(PARA RECONOCIMIENTO DE SINTAXIS)
 N150 G0 Z1.;(SUBE HTA A PUNTO DE SEGURIDAD)
 ;(TERMINA TRAYECTORIA DE CORTE)
 ;(FIN DE PROGRAMA)
 N160 M9
 N170 M5
 N180 M30

Resultados

Los 6 programas se probaron en 3 máquinas de control numérico de 3 ejes:

Marca Bridgeport Torq cut 22

Marca Guss & Roch VMC 640

Marca Fagor CNC 8037 M

Los resultados de ejecución se visualizan en la Tabla 8 y las ejecuciones en las Figuras 5,6 y 7.

Estructura/Máquina CNC	Guss & Roch	Bridgeport	Fagor
1	Sí	Sí	Sí
2	Sí	Sí	Sí
3	Sí	Sí	Sí
4	Sí	Sí	Sí
5	Sí	No	Sí
6	No	Sí (con G75 en bloque de encabezado)	Sí (Con G6 en bloque de interpolación circular)

Tabla 8 Lista de cotejo de ejecución de las 6 estructuras de programación en 3 centros de maquinado CNC con 3 ejes

Fuente: Elaboración propia



Figura 5 Ejecución de programa ejemplo en máquina de 3 ejes marca Guss & Roch

Fuente: Elaboración propia



Figura 6. Ejecución de programa ejemplo en máquina de 3 ejes marca Bridgeport

Fuente: Elaboración propia



Figura 7. Ejecución de programa ejemplo en máquina de 3 ejes marca Fagor

Fuente: Elaboración propia

Las estructuras 1 a la 4 se ejecutan en los tres controles.

La estructura 6 se ejecuta en dos de las máquinas, agregando códigos que permiten su ejecución como el G75 que se agrega en el encabezado del programa o un G06 en cada uno de los bloques donde se utilice una interpolación circular.

La estructura 5 no es ejecutable en la máquina Bridgeport, debido a que ese control no permite la combinación de los sistemas absoluto y relativo para la codificación de una interpolación circular, por lo que en ese control sólo es posible utilizar uno de los dos sistemas para calcular la posición final y central de la interpolación circular.

La estructura 6, no es ejecutable en la máquina Guss & Roch, debido a que ese control no reconoce la sintaxis para interpolaciones circulares que utilizan coordenadas absolutas en la posición central del arco o círculo.

Es importante mencionar que las pruebas no pretenden demostrar si las estructuras se ejecutan o no en las máquinas, sino que es posible utilizarlas en diversos tipos de controles basados en el estándar ISO y las variantes que podrían existir al emplear las estructuras propuestas.

Agradecimiento

A la Universidad Tecnológica Fidel Velázquez, por el apoyo para los gastos de publicación y presentación de este trabajo.

Conclusiones

A nivel mundial, México se está consolidando como un mercado importante de máquinas herramientas con control numérico computarizado (MHCNC), así lo refleja la adquisición de centros de maquinado vertical de tres o más ejes (Tovar, 2017) por parte de las empresas proveedoras de la industria automotriz y aeroespacial, debido a que permiten la reducción en los costos de fabricación y tiempos de ciclo. Lo anterior, abre una amplia área de oportunidades para los estudiantes cuyas carreras están relacionadas con los procesos de manufactura que involucran la eliminación de material a través del arranque de viruta, pues dichas empresas tienen la imperiosa necesidad de contar con personal capacitado y especializado para la operación y programación de dicha maquinaria.

En este sentido, las Universidades Tecnológicas deben darse a la tarea de formar a los estudiantes con las competencias necesarias para satisfacer las demandas de personal de este pujante sector industrial.

Ante la dificultad de contar con cada uno de los tipos de control numérico vigentes en el mercado, el docente debe conjugar su experiencia y creatividad para explorar con detenimiento cada una de las posibilidades de programación de sus máquinas disponibles, pensando en la responsabilidad social que conlleva el diseñar programas que al ejecutarse lo hagan en orden, resguardando la integridad física del estudiante y de la máquina.

Con esta idea en mente, en el presente trabajo se han desarrollado seis estructuras de programación que conjuntan las similitudes existentes en por lo menos 5 marcas de controles numéricos para tres ejes con sus posibles variantes. En ellas se refleja la importancia del sistema de coordenadas absoluto para el posicionamiento inicial y final de la herramienta de corte, que combinada con una interpolación lineal de velocidad rápida (G00) optimiza y reduce el tiempo de fabricación de un lote de piezas.

Asimismo, el manejo de las posiciones intermedias en sistema absoluto o relativo, considerando que para ambos sistemas debe existir la misma posición cero, evita colisiones entre herramienta y pieza, permitiendo el cálculo exacto de la posición de la herramienta de corte lo que disminuye el riesgo de accidente al operador o el daño en el cabezal de la máquina.

Por otra parte, el uso de las sintaxis de los movimientos circulares basadas en el radio o en las coordenadas centrales, permite al programador identificar de inmediato la que puede emplear cuando se enfrente a un control numérico diferente al que se utilizó para su capacitación.

Una de las ventajas que se observan en las estructuras basadas en las coordenadas centrales para movimientos circulares es que disminuyen la cantidad de bloques a emplear para la fabricación de una pieza, lo que permite disminuir su tiempo de desarrollo y el tiempo de ciclo.

Con las características y ventajas de método planteado, una vez que el estudiante se integre en el sector productivo, en uno de los tantos talleres o empresas dedicadas a la fabricación de piezas o moldes que existen en México, se disminuirán de forma importante los costos derivados de capacitación, los gastos de reparación de daños en la máquinas por una programación desordenada, los tiempos de ciclo de producción por lotes y, lo más importante; los riesgos en su integridad física a los que se ve expuesto cuando no posee una capacitación escolar real y práctica.

Referencias

- Aramcharoen, A., & Mativenga, P. T. (2014). Critical factors in energy demand modelling. *Journal of Cleaner Production*.
- Bridgeport Machines Inc. (1994). *Bridgeport CNC DX32 Manual de programador*.
- Cruz Teruel, F. (2011). *Control numérico y programación II*. México, D.F. : Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.
- Fagor Automation. (2012). *CNC 8037 M Manual de programación*. Arrasate-Mondragon España: Fagor Automation S. Coop.
- González Núñez, J. (1990). *El control numérico en la máquinas herramienta*. México, Distrito Federal: CECSA.
- Groover, M. D. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Mc Graw Hill / Interamericana Editores S.A. de C.V.
- Guaman Alarcon, M., & Camacho Camacho, M. (2009). *Implementación de guía de prácticas para la enseñanza de la fabricación de elementos maquinados (Tesis de grado)*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Guss & Roch División CNC. (s.f.). *Smart VMC 640 User's Guide*.
- International Standard Organization. (1982). *ISO 6983/1 Numerical control of machines. Program format and definitions of address words*.
- International Standard Organization. (2009). *ISO 6983-1 Automation systems and integration numerical control of machines*.
- Program format and definitions of address words.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2014). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. México: Pearson Educación de México S.A. de C.V.
- Ortiz, S. (2017). México, un mercado para maquinaria de alta tecnología. Recuperado el 3 de 9 de 2018, de Vanguardia industrial: <https://www.vanguardia-industrial.net/mexico-un-mercado-para-maquinaria-de-alta-tecnologia/>
- Shultz, H., & Spath, D. (1996). Integration of operator's experience into NC manufacturing. *CIRP Annals Manufacturing Technology*, 415-418.
- Tovar, E. (2017). ¿Qué tipo de máquinas se están comprando en México? Recuperado el 3 de Septiembre de 2018, de Modern Machine Shop México: <https://www.mms-mexico.com/art%C3%ADculos/qu%C3%A9-tipo-de-mquinas-se-estn-comprando-en-m%C3%A9xico>