

PROGRAMACIÓN DE MECANIZADO EN CÓDIGO G CON MACROS

OMAR JULIAN CIFUENTES ENCISO 20131074079

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
TECNOLOGÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.

2017

PROGRAMACIÓN DE MECANIZADO EN CÓDIGO G CON MACROS

OMAR JULIAN CIFUENTES ENCISO 20131074079

MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE TECNÓLOGO MECÁNICO

TUTOR:

JONNY RICARDO DUEÑAS ROJAS

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD TECNOLÓGICA

TECNOLOGÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C.

2017

CONTENIDO

1	RESUMEN:	8
2	ABSTRACT	9
3	INTRODUCCIÓN	10
4	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:	11
5	ESTADO DEL ARTE:	12
6	JUSTIFICACIÓN:	17
7	OBJETIVOS:	20
7.1	Objetivo general.....	20
7.2	Objetivos específicos	20
8	MARCO TEÓRICO:.....	21
8.1	Definición Macros:	21
8.2	Programación macro para sistema FANUC.....	22
8.3	CAD/CAM:	24
8.4	CNC:.....	24
8.5	Programación de máquinas de CNC con códigos G&M	24
9	METODOLOGÍA:.....	26
9.1	Adquisición de información para fundamentación teórica.....	27
9.2	Reconocimiento del magazine de herramientas del centro de mecanizado.	27
9.3	Diseño y desarrollo de la geometría seleccionada.	28
9.4	Definición de parámetros tecnológicos de las herramientas.....	29
9.5	Desarrollo de la programación de mecanizados con y sin macros.....	32
9.6	Revisión de la programación y ejecución del programa en el aire.....	43
9.7	Ejecución de los programas de mecanizado y recolección de datos cuantitativos.....	44
9.8	Análisis de resultados	45
10	CONCLUSIONES	50
11	BIBLIOGRAFÍA	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1</i>	<i>Contra placa, molde de inyección. Autor Incadmol S.A.</i>	17
<i>Ilustración 2</i>	<i>Tapa expulsora, molde de inyección. Autor Incadmol S.A.</i>	18
<i>Ilustración 3</i>	<i>Conjunto tapa expulsora, contra placa, amarres, expulsores y guías 1. Fuente propia</i>	18
<i>Ilustración 4</i>	<i>Diagrama de flujo Metodología</i>	27
<i>Ilustración 5</i>	<i>Plano placa-expulsora</i>	28
<i>Ilustración 6</i>	<i>Definición gráfica de Velocidad de avance y número de revoluciones. Tomado del Manual general de Walter</i>	31
<i>Ilustración 7</i>	<i>Bloqueador De Plástico Fuente propia</i>	32
<i>Ilustración 8</i>	<i>Simulación Cimco Edito V5 Versión Educativa Código G Placa Expulsora Fuente propia</i>	39
<i>Ilustración 9</i>	<i>Simulación en programa Cimco Edit V5 Versión Educativa Código G Contra placa Fuente propia</i>	42
<i>Ilustración 10</i>	<i>Controlador CNC Fuente propia</i>	43
<i>Ilustración 11</i>	<i>Mecanizado Placa Expulsora Fuente propia</i>	44
<i>Ilustración 12</i>	<i>CONTRA PLACA Pieza Terminada Fuente Propia</i>	48
<i>Ilustración 13</i>	<i>PLACA EXPULSORA 'Pieza Terminada Fuente Propia</i>	49

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Tipos de variables en Macros</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 2 Operaciones matemáticas en Macros.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 3 Parámetros Tecnológicos Herramientas.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 4 Número de revoluciones y velocidades de avance encontrados</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 5 Costos del proyecto de grado</i>	<i>50</i>

INDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1</i>	30
<i>Ecuación 2</i>	30
<i>Ecuación 3</i>	32
<i>Ecuación 4</i>	32

ANEXOS

ANEXO A. FANUCMacroProgramProgramming

ANEXO B. PLANO PLACA EXPULSORA

ANEXO C. PLANO CONTRAPLACA

ANEXO D. MACROS CONTRAPLACA

ANEXO E. MACROS EXPULSORA

ANEXO F. CÓDIGO G PLACA EXPULSORA

ANEXO G. CÓDIGO G CONTRAPLACA

1 RESUMEN:

En el diseño y fabricación de moldes de inyección existen piezas de mecanizado que pertenecen a una misma familia geométrica pero difieren entre ellas por parámetros dimensionales, para este tipo de piezas el proceso de fabricación y mecanizado convencionales no resultan realmente eficientes pues para cada variación dimensional de una pieza se debe desarrollar un modelo CAM diferente lo que implica mayor empleo de tiempo y retrasos en la línea. En este proyecto se busca abordar esta problemática creando un código de programación con macros el cual permite que con tres variables seleccionadas se genere el mecanizado de las piezas con las dimensiones requeridas simplificando y agilizando la manufactura de este tipo de piezas.

2 ABSTRACT

In the design and manufacture of injection mold machining parts that belong to the same geometric family but differ among them by dimensional, for this type of piece parameters of conventional manufacturing and machining process there are not they are really efficient as a CAM model must be developed for each dimensional variation of a piece different implying higher employment of time and delays on the line. This project seeks to address this issue by creating a programming code with macros which allows that with three selected variables generated the machining of parts with the required dimensions simplifying and speeding up the manufacture of this type of parts.

3 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la industria moderna ha impulsado de manera directa el desarrollo de una amplia gama de máquinas-herramientas. Unas de las herramientas que sin lugar a duda han mejorado y ampliado la capacidad de la industria son todas aquellas que funcionan bajo un riguroso control numérico por ordenador.

Las herramientas de control numérico como su nombre lo indica deben ser controladas por un software CAD/CAM basado en programación de código G la cual permite automatizar una máquina-herramienta, lo que resulta muy conveniente en el ámbito industrial ya que presenta ventajas en cuanto a diseño y fabricación, y aun más en producciones en masa. Por otra parte el control numérico revolucionó positivamente la industria ya con su aparición se posibilitó el maquinado de piezas que hasta antes de su aparición eran imposibles de fabricar con las técnicas y herramientas convencionales.

Además de esto, se puede optimizar aún más los procesos de mecanizado en una producción en serie utilizando una programación G con macros lo cual permite flexibilizar, agilizar y minimizar los procesos de fabricación por medio una parametrización en los códigos G de las distintas piezas a fabricar.

Este proyecto inició observando el proceso de manufactura de un molde de inyección que genera un bloqueador de plástico, el cual era lento y se cometían varios errores, por lo que se procede a la creación de un sistema que incrementa potencialmente la rapidez en el proceso de manufactura y limite los errores a cero. Por esta razón se selecciona la programación con macros la cual permite sistematizar una programación en código G, lo que hace que se generen una función de valores a partir de unas pocas variables establecidas. Es decir que con un mismo código G se puede generar piezas de una misma familia con dimensiones diferentes, las que se requieran.

4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la industria a nivel tecnológico siempre se ha intentado mejorar u optimizar procesos en todo el ámbito de la fabricación, las máquinas herramientas son una parte fundamental de la industria moderna ya que permiten mejorar los tiempos de fabricación especialmente hablando de la fabricación en serie, la cual como es bien sabido exige un alto volumen de producción y para esto es necesario que las máquinas trabajen al ciento por ciento de sus capacidades, pero en ocasiones algunas de las piezas de fabricación consisten en geometrías de la misma familia que solo varía dimensionalmente, como es el caso de las diferentes placas presentes en los moldes de inyección, en este caso el diseño CAD/CAM resulta poco práctico pues requiere la generación de un sólido 3D y una programación de mecanizado para cada pieza a fabricar lo cual se convierte en un proceso dispendioso que dificulta en trabajo al operario.

5 ESTADO DEL ARTE

A continuación se relacionan trabajos realizados en el área de investigación del presente proyecto y que sirvieron como referentes para analizar la manera en la que se abordó la temática de programación en código G con implementación de macros, la optimización de los tiempos de mecanizado y el diseño paramétrico. Con estos documentos consultados se obtuvo información relevante para el desarrollo del presente proyecto.

Rojas (2005) presenta el desarrollo de un programa CNC con y sin macros el cual nos expresa la importancia de la utilización de ordenadores o computadores para la fabricación, desarrollo y diseño de productos (CAD/CAM), ya que así se pueden fabricar a mayor rapidez, con mayor precisión y a menores precios, si se utiliza adecuadamente esta herramienta. De acuerdo a esto, este documento propone y desarrolla un método que utiliza el código G con macros, el cual no solo utilizan estos programas CAD/CAM si no que optimiza al máximo éste en casos más específicos, como mecanizados similares pero con diferentes dimensiones, posiciones o incluso geometría. En los resultados obtenidos podemos ver que se enfocan en demostrar las ventajas que se tiene en la producción utilizando un programa con Macros, frente a uno sin macros, ventajas como lo son la minoración de errores, de tiempo, optimización de los procesos y más importante aún la sistematización de procesos que simplifican y facilitan el uso de estos en cada empresa.

Por otro lado en otro artículo se presenta un ejemplo de cómo trabajar un mecanizado utilizando una programación con macros para poder así fabricar toda una familia de piezas con rasgos geométricos similares. Más específicamente, el artículo hecho por (Rojas, 2005), habla acerca de fabricar geometrías compuestas únicamente por cavidades rectangulares, al ser este el

único rasgo a parametrizar se implementa el desarrollo de un programa con un solo macro que controlara la posición y la dimensión de cada una de las geometrías.

Para el modelamiento de este problema se implementó el programa UNIGRAPHICS NX1 que es un software CAD/CAM y se estableció dentro de la programación con macro que las coordenadas absolutas de cada ranurado a fabricar iba a estar designado con el código #500, es decir: #501 coordenada X absoluta, #502 coordenada Y absoluta, #503 profundidad de 0.2, #504 profundidad deseada de la caja, códigos que se encuentra almacenados en la memoria del controlador.

Por otra parte, se utilizó el código #100 para designar las dimensiones generales de cada caja, es decir: #101 medida del rectángulo en x, #102 medida del rectángulo en y. los valores de este código no se encuentran almacenados en el controlador, deben estar incluidas directamente en el programa.

Para el desarrollo de este mecanizado también fue necesario elaborar una programación paramétrica la cual es necesaria a la hora de determinar factores como velocidad de avance, velocidad de corte entre otros.

Finalmente se muestra la programación desarrollada con macros compuesta por un programa principal dedicado a hacer el setup de la máquina y el posicionamiento de la herramienta para ejecutar el macro y subprograma encargado de realizar el mecanizado.

Además de esto, se encuentra otro artículo, (Bernabé Fernández M., 2007) en el cual se exponen los métodos desarrollados en la ingeniería de calidad por el ingeniero japonés Genichi Taguchi las cuales permitieron alcanzar una posición muy competitiva a la industria japonesa en el mercado mundial y que solo se conocieron en occidente después del año 1982.

Los tres grandes aportes hechos por el Dr. Taguchi fueron. La función de pérdida, la cual es utilizada para expresar en términos monetarios la calidad, concebida o definida como la capacidad de satisfacer, superar o incumplir las expectativas del cliente y la cual se expresa a través de una función cuadrática, y que nos dice que lo importante es reducir la pérdida de calidad.

Otra gran contribución del Dr. Taguchi fue el concepto de robustez el cual se ve desde las perspectivas del Producto, que es la capacidad de un producto para cumplir con los objetivos para el cual fue diseñado minimizando errores causados por efectos incontrolables en la fabricación. Y el Proceso, que es la capacidad de un proceso para fabricar un producto es sus niveles óptimos y minimizando a la vez los valores y factores que afectan las características funcionales del producto.

Y por último el diseño de parámetros que es parte clave dentro de la ingeniería de calidad y su énfasis es la reducción de costos manteniendo o incluso mejorando la calidad del producto. El Dr. Taguchi se involucra tanto en el diseño del producto como en el diseño del proceso de fabricación y genera tres etapas para la optimización de la calidad. Diseño de sistemas en el cual se aplican conocimientos científicos y técnicos para el diseño y construcción de un prototipo básico que va a ser objeto de análisis y desarrollo, la siguiente etapa es el diseño de parámetros, que consiste en hacer una investigación en el que se busquen los mejores parámetros de diseño que optimicen las funcionalidades y características de un producto o proceso de fabricación, y por último la etapa de diseño de tolerancias que consiste en reducir las tolerancias de los parámetros del producto o proceso cuya variación tiene gran impacto en el producto final.

En conclusión el artículo nos da a entender que los métodos del Dr. Taguchi buscan optimizar al máximo la calidad de un producto sin elevar los costos en la producción, enfocándose en reducir la variabilidad o efectos de éstas en las

características de los productos y procesos de fabricación ya que es muy difícil y costoso la reducción de las causas de estas variaciones.

Como resultado de la investigación del Dr Taguchi se logró disminuir altamente los efectos que producían los errores.

Aparte de este tema en específico, se revisó el documento que tiene como título Criterios para seleccionar sistemas de diseño y manufactura asistidos por computadora (CAD/CAM), nos presenta un estudio hecho sobre los criterios que se deben tener en cuenta para escoger un programa CAD/CAM, para este caso se hizo la adaptación de un sistema CAD/CAM integrado a un CNC y por otro lado un sistema CAD con interacción con AutoCAD, es decir se hace una comparación entre un sistema CAD/CAM integrado hecho por la misma compañía y uno con software CAM desarrollado por otra compañía que la del CAD.

El diseño y maquinado asistido por computadora no solo trae los beneficios que ya son conocidos, sino también una serie de variables asociados con la implementación de este sistema como lo son el incremento de la producción de diseño, el análisis de diseño, el incremento de productividad para ingeniería y uno muy útil y poco utilizado el análisis de elementos finitos. Además, todo esto se debe tener en cuenta a la hora de decidir si se quiere integrar un sistema CAD/CAM en cualquier empresa.

El análisis hecho en el documento se demuestra que en la línea de procesos como taladrado torneado taladrado troquelado o incluso electro erosionado no hay diferencias entre estos sistemas comparados. Pero por otro lado cuando se hacen cortes complejos o donde la herramienta tiene trayectorias en cinco ejes, el sistema CAD/CAM hecho por la misma compañía es mucho más útil ya que permite hacer estos maquinados (cortes y trayectorias en cinco ejes) mientras que un sistema CAD que interactúa con AutoCAD no podría completar tareas complejas (cinco o cuatro ejes). Adicionalmente se hizo un estudio en el que estudiantes con conocimientos básicos operaban CNC por medio de los

sistemas CAD/CAM y se dieron cuenta que si este se desarrolla mediante un proceso simple y amigable, estos estudiantes podían operar sin ningún problema máquinas de control numérico. (Martínez, 2004)

6 JUSTIFICACIÓN

El diseño y desarrollo de moldes de inyección implica la implementación de diferentes operaciones de mecanizado en piezas de diferentes dimensiones pero similares, una de las operaciones más utilizadas es la de taladrado dado que se necesita generar perforaciones para permitir el ingreso de los expulsores de pieza, el expulsor de vela, el ingreso del material plástico, ensamblar los diferentes componentes del molde por medio de guías y sujetar los componentes entre si, utilizando tornillos resacados denominados amarres. En la ilustración 1 o en el anexo C se puede apreciar la tapa superior o contra placa de un molde de inyección la cual se utiliza para para acoplar el conjunto del molde a la máquina inyectora y como se puede apreciar cuenta con diferentes tipos de taladrados, todos ubicados estratégicamente y de manera personalizada para este molde, de igual manera para cada tipo de molde se deben diseñar las dimensiones, tipo y ubicación de cada taladrado teniendo en cuenta la geometría de la pieza a inyectar.

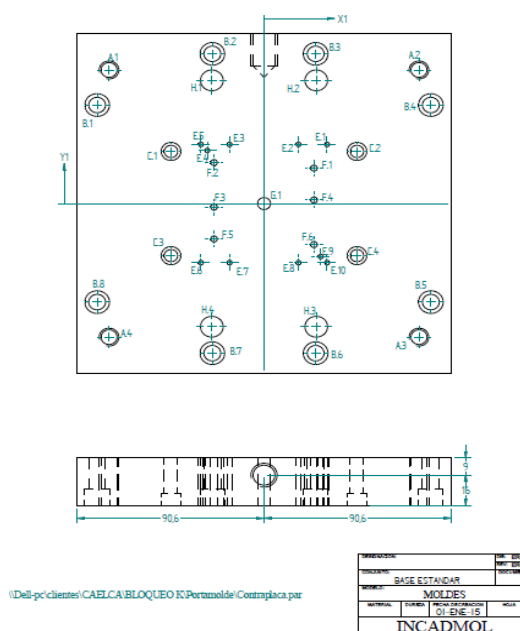


Ilustración 1 Contra placa, molde de inyección. Autor Incadmol S.A.

En la Ilustración 2 o anexo B se puede observar la tapa expulsora del mismo molde de inyección citado anteriormente, las cuales me fueron proporcionadas

por la empresa Incadmol S.A., esta tiene como fin sujetar los expulsores de pieza y de material, y al igual que la tapa superior esta pieza cuenta con diferentes tipos de taladrados diseñados específicamente para este molde.

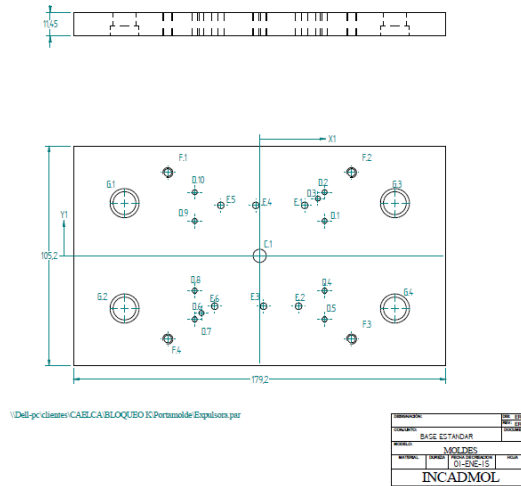


Ilustración 2 Tapa expulsora, molde de inyección. Autor Incadmol S.A.

Por lo general un molde de pequeñas dimensiones puede llegar a necesitar un promedio de 65 operaciones de taladrado dado, por ejemplo en ilustración 3 podemos apreciar la base expulsora sujeta a la contra placa junto con los expulsores y guías, solo en este conjunto de piezas se pueden contabilizar más de 30 operaciones de taladrado, y es importante tener en cuenta que este conjunto de piezas representa menos del 30 % de un molde de inyección completamente ensamblado



Ilustración 3 Conjunto tapa expulsora, contra placa, amarres, expulsores y guías 1. Fuente propia

Como se puede apreciar en las ilustraciones la cantidad, posición y tipo de agujeros presentes en los componentes de un molde pueden ser muy diversos, dando cabida a posibles errores en la programación del mecanizado, por esto se plantea la necesidad de desarrollar una programación compatible con el Lenguaje Fanuc el cual se utiliza en el centro de mecanizado de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas, que simplifique el trabajo de mecanizado y reduzca los tiempos de producción de los moldes de inyección.

7 OBJETIVOS

7.1 Objetivo general

Desarrollar un programa en código G que simplifique el proceso de mecanizado de placas sujetadoras y de montaje presentes en los moldes de inyección.

7.2 Objetivos específicos

Determinar las ventajas que presenta la implementación de un programa utilizando macros frente a uno que no cuente con estos.

Analizar la flexibilidad de la programación por macros para piezas con características geométricas similares.

Construir tapa superior y tapa expulsora de un molde de inyección en aluminio utilizando programación con y sin macros.

8 MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de este proyecto es necesario tener en cuenta consultas de información teórica referentes a las áreas de profundización de este trabajo, con lo cual, se establecen definiciones objetivas de la terminología más importante y que establecerá un panorama claro de la temática desarrollada en este documento, la síntesis de dicha información consultada se presenta a continuación.

8.1 Definición Macros.

Macro es un elemento compositivo que proviene de la lengua griega y que señala algo que es “grande”.

En nuestro caso, se utiliza la palabra macro para referirse a la **macroinstrucción**, que es el conjunto y/o secuencia de instrucciones sencillas que se realizan de forma conjunta como una sola operación, que en determinadas aplicaciones posibilitan la ejecución organizada de una instrucción. Esto quiere decir que una macroinstrucción permite que una única orden desencadene una secuencia de varias instrucciones.

Así, el usuario o programador puede establecer una macro con un “nombre” determinado que, cada vez que se lo emplee, ejecuta una serie de instrucciones, por esto, también puede entenderse a una macro como una instrucción de complejidad que está compuesta por diversas instrucciones más simples. Además, algunos programas permiten realizar macros condicionales, de forma que su ejecución varíe en función de los parámetros de entrada. También es posible almacenar una macro en el propio software en el que se ejecuta, ya sea mediante un botón o una cierta combinación de teclas.

Cabe destacar que el software también está formado por un conjunto de instrucciones. Sin embargo, se diferencia de las macroinstrucciones en que la ejecución de las macros se desarrolla de manera secuencial y que no existe la posibilidad de establecer una bifurcación.

El seguimiento secuencial de las macro permite simplificar tareas y evitar la repetición de órdenes o partes idénticas en un programa, permitiendo agilizar la tarea operativa.

Por ejemplo: una macro con la instrucción de borrar un registro de una base de datos puede ser “llamada” desde otra instrucción, lo que le permitirá ahorrar tiempo al programador y al usuario. (Julián Pérez Porto & María Merino, 2012) Gracias a estas macros se puede desde crear nuevas funciones hasta automatizar diversas tareas del programa para que se puedan acometer simplemente mediante un sencillo código.

8.2 Programación macro para sistema FANUC.

Para la programación MACRO para sistema FANUC se deben seguir las siguientes especificaciones.

LAS VARIABLES

El programa general de la pieza de trabajo designa el código de G y la distancia de la nave con el valor numérico directamente; Por ejemplo, G01 y X100.0. Cuando se utiliza macro de usuario, el valor numérico se puede designar directamente o por variable.

Por ejemplo

#1 = 50

G01 X#1 Y20 F400

Tabla 1 Tipos de variables en Macros

Número de la variable	Tipo de variable	Función
#0	Variable sencilla	Ningún valor se asigna a esta variable
#1 - #33	Variable local	Esta variable es solo utilizada para almacenar datos en el macropograma, como el resultado de operaciones. Cuando se llama el macropograma, la variable independiente asigna la variable local

Número de la variable	Tipo de variable	Función
#100 - #199	Variable común	La variable común tiene un mismo valor en un macroprograma diferente. Cuando el poder es cortado, la variable *100-* 199 se vacía. Los datos de variable *500-* 999 son almacenados incluso si el poder es cortado.
#500 - #999	Variable común	
#1000	Variable de sistema	La variable de sistema es usada para leer y escribir la transformación de todas las clases de datos cuando una CNC corre, como la posición de corriente de instrumento y el valor de compensación.

Tomada de FANUCMacroProgramProgramming Anexo 1

Para usar la variable en un programa primero se utiliza primero numeral (#) seguido de la designación

Por ejemplo: G01 X#1 F#2

Para cambiar el signo de una variable este se le pone antes del numeral

Por ejemplo: G00 X - #1

OPERACIONES MATEMÁTICAS

Las siguientes operaciones pueden ser utilizadas en las variables, se pueden incluir constantes y/o variables

Tabla 2 Operaciones matemáticas en Macros

DEFINICIÓN	#i=#j
SUMA	#i=#j+#k
RESTA	#i=#j-#k
MULTIPLICACIÓN	#i=#j*#k
DIVISIÓN	#i=#j/#k

Tomada de FANUCMacroProgramProgramming Anexo A

8.3 CAD/CAM.

(Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) Diseño asistido por computador/Fabricación asistida por computador. Integración de CAD y CAM. Los productos diseñados por CAD son ingresados directamente al sistema CAM. Por ejemplo, al diseñarse un dispositivo, su imagen electrónica se traduce a un lenguaje de programación de control numérico, el cual genera las instrucciones para la máquina que fabrica el dispositivo. (Magazine, 2015)

8.4 CNC.

El control numérico por computadora, de ahora en adelante CNC, es un sistema que permite controlar en todo momento la posición de un elemento físico, normalmente una herramienta que está montada en una máquina. Esto quiere decir que mediante un software y un conjunto de órdenes, controlaremos las coordenadas de posición de un punto (la herramienta) respecto a un origen (0,0,0 de máquina), o sea, una especie de GPS pero aplicado a la mecanización, y muchísimo más preciso.

El CNC controla todos los movimientos de la herramienta cuando estamos fabricando, y no solo controla las coordenadas que hemos visto, sino también, la manera de desplazarse entre ellas, su velocidad, y algunos parámetros más. Un CNC es un equipo totalmente integrado dentro de máquinas-herramienta de todo tipo, de mecanizado, de corte, por láser, cortadora, etc. (COSMOCA, 2017)

8.5 Programación de máquinas de CNC con códigos G&M.

La programación nativa de la mayoría de las máquinas de Control Numérico Computarizado se efectúa mediante un lenguaje de bajo nivel llamado G & M. 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).

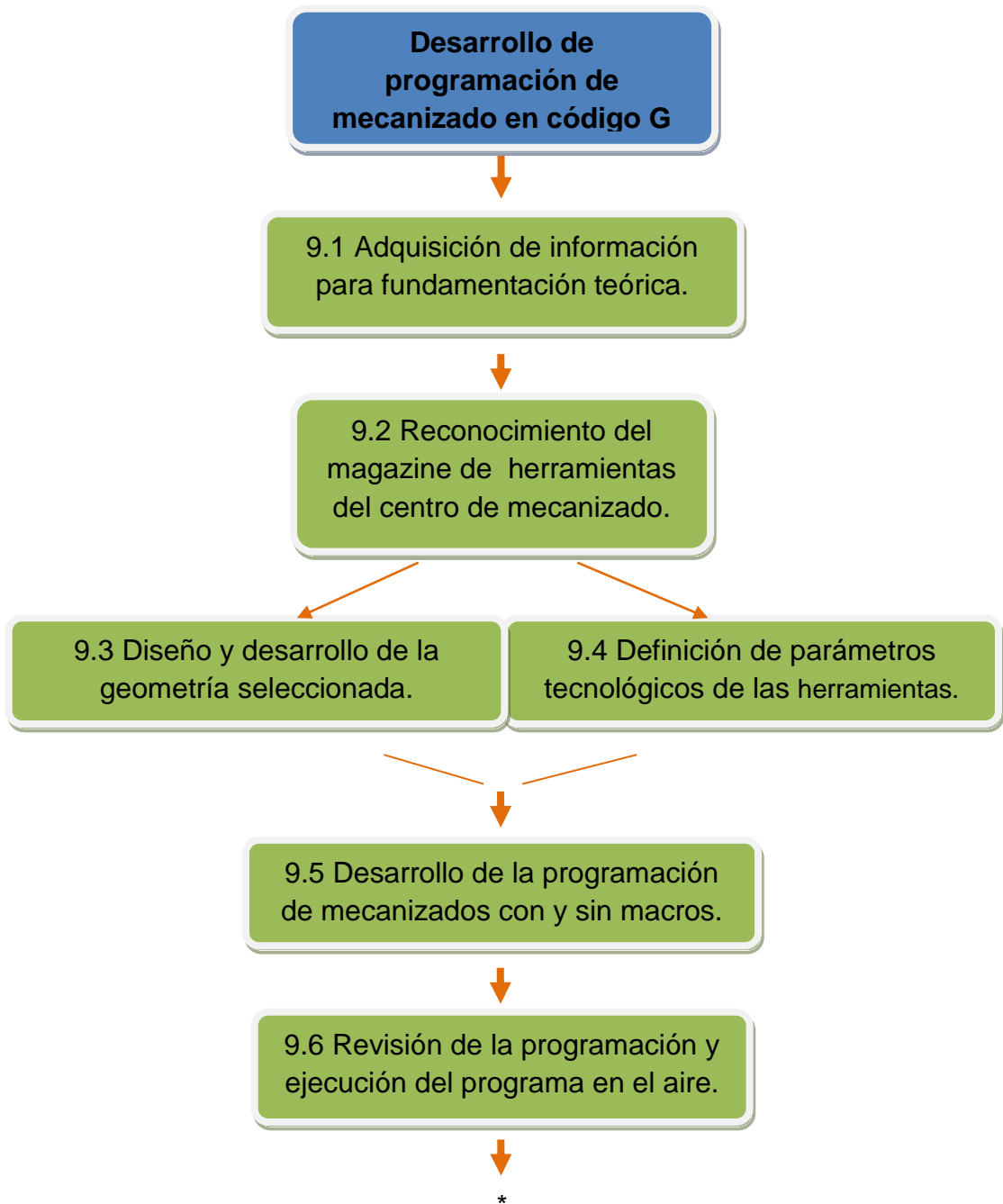
El nombre G & M viene del hecho de que el programa está constituido por instrucciones Generales y Misceláneas. (TecnoEdu, s.f.)

Si bien en el mundo existen aún diferentes dialectos de programación con códigos G&M, se dio un gran paso adelante a través de la estandarización que promovió la ISO.

Esta estandarización fue adoptada por la totalidad de los fabricantes industriales serios de CNC y permite utilizar los mismos programas en distintas máquinas CNC de manera directa o con adaptaciones menores.

9 METODOLOGÍA

En este punto se da a conocer la metodología con la cual se ejecutó el desarrollo de este proyecto Ver la figura 4 que se muestra a continuación.



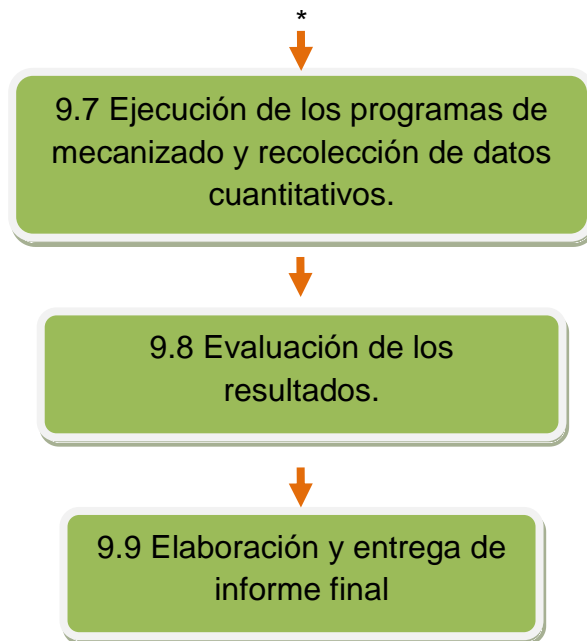


Ilustración 4 Diagrama de flujo Metodología

A continuación se desarrollará punto por punto la metodología planteada en la ilustración 4.

9.1 Adquisición de información para fundamentación teórica.

Para la adquisición de la información y el correcto desarrollo del proyecto se obtiene un manual de programación con Macro para sistema FANUC (ver anexo A), además se crea un marco teórico.

9.2 Reconocimiento del magazine de herramientas del centro de mecanizado.

A continuación se hará un análisis y se seleccionaran las herramientas a utilizar en proceso de mecanizado de las placas, expulsora y contra-placa.

Dada las geometrías y mecanizados requeridos para la fabricación de las piezas se requieren las siguientes herramientas.

Para las dos placas del molde (expulsora y contra-placa) se necesitan 9 brocas de diámetros en milímetros de 6,35 – 2,38 – 3,17 – 3,68 – 11 – 7,81 – 8,18 - 6,5 – 9,525 Además se utiliza una broca escariadora de 12 milímetros de diámetro.

9.3 Diseño y desarrollo de la geometría seleccionada.

Antes de realizar el código G con macros de debe elegir de manera apropiada como generar el cambio adecuado en la placa, teniendo en cuenta su configuración, su posición, su función, y las demás placas con las que se ensambla. Se tiene en cuenta que, por ejemplo, hay posiciones de los agujeros en la placa los cuales solo cambian de cierta forma y otros los cuales no pueden cambiar su posición, a continuación se mostrara como se parame trizo teniendo en cuenta las herramientas que tiene la programación con Macros.

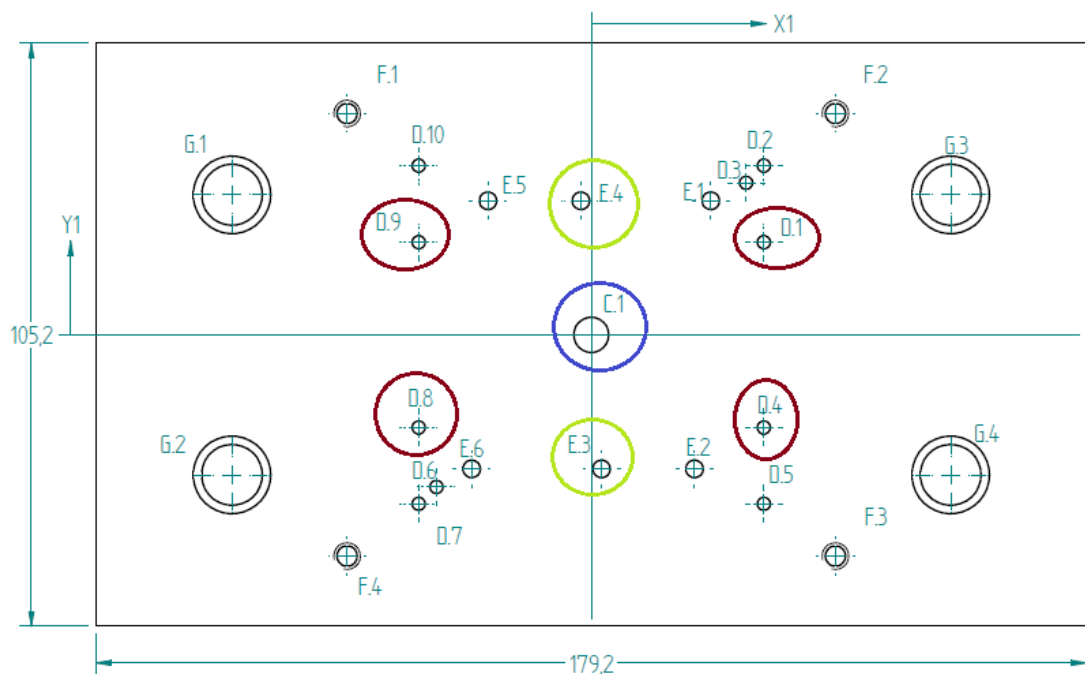


Ilustración 5 Plano placa-expulsora

Como podemos ver en el plano, la placa-expulsora está compuesta por 25 agujeros, y a la hora de desarrollar la programación con macros la cual permitirá cambiar las posiciones de estos agujeros a medida que incrementa o disminuye la pieza a realizar en el molde de inyección (bloqueador).

Teniendo en cuenta lo anterior se debe tener en cuenta que las posiciones de los agujeros solo pueden cambiar de la siguiente manera.

- Los agujeros que están dentro de los círculos rojos, solo se puede mover a lo largo del eje X, es decir que en cualquier tamaño del bloqueador estos agujeros no se van a desplazar en el eje Y. ya que la distancia que se tiene entre estos agujeros y el eje X debe respetarse porque este espacio es utilizado para el sistema de inyección del plástico en el molde.
- Los agujeros que están en los círculos verdes, solo se van a desplazar o van a tener cambios en el eje Y
- El agujero dentro del círculo azul va a tener siempre la misma posición la cual es en el cero pieza del plano.
- Los agujeros que no están demarcados por círculos tienen un movimiento libre en los ejes X y Y.

9.4 Definición de parámetros tecnológicos de las herramientas.

En este siguiente paso se establecen los parámetros tecnológicos de las herramientas a usar según (WALTER, 2012), siguiendo los pasos propuestos en este mismo catálogo.

Primero se deben tener en cuenta que para el desarrollo del programa se dará nombre a cada herramienta de la siguiente forma y se buscará la velocidad de avance (V_f) y el número de revoluciones por minuto (n), ya que solo se harán agujeros en las piezas.

Tabla 3 *Parámetros Tecnológicos Herramientas*

BROCA	Dc (mm)	Lc (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	Vc (m/min)	f (mm)
T1	6,35	52	101	63	21	0,15
T2	2,38	26	57	30	21	0,053
T3	3,17	30	65	36	21	0,067
T4	3,68	39	70	36	21	0,067
T5	11	76	142	94	21	0,21
T6	7,81	62	117	75	21	0,15
T7	8,18	62	117	75	21	0,17
T8	6,5	52	101	63	12	0,15
T9	12	122	184	132	12	0,21
T10	9.525	71	133	87	21	0.25

Datos tomados del Catálogo general WALTER (2012)

En la anterior tabla Datos tomados del manual general WALTER se recogen todos los datos necesarios para hallar los parámetros tecnológicos como la velocidad de avance y el número de revoluciones del husillo.

Numero de revoluciones

$$n = \frac{Vc \times 1000}{Dc \times \pi}$$

Ecuación 1

Velocidad de avance

$$Vf = f \times n$$

Ecuación 2

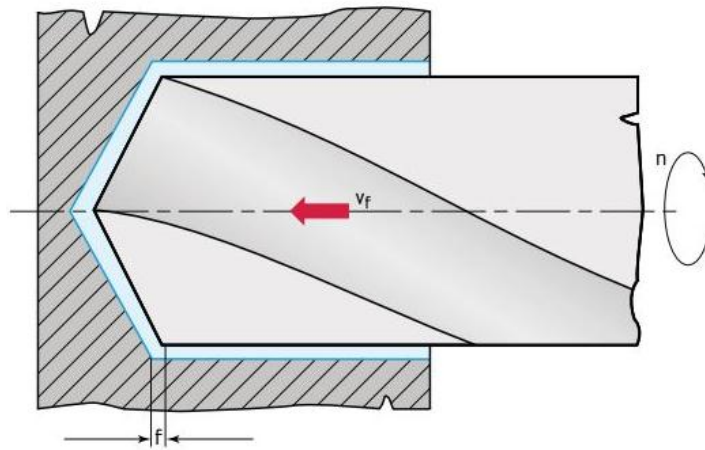


Ilustración 6 Definición gráfica de Velocidad de avance y número de revoluciones. Tomado del Manual general de Walter

Seguido y teniendo en cuenta la Tabla 3 y las ecuaciones 1 y 2 se procede a hallar los parámetros para cada herramienta.

Tabla 4 Número de revoluciones y velocidades de avance encontrados

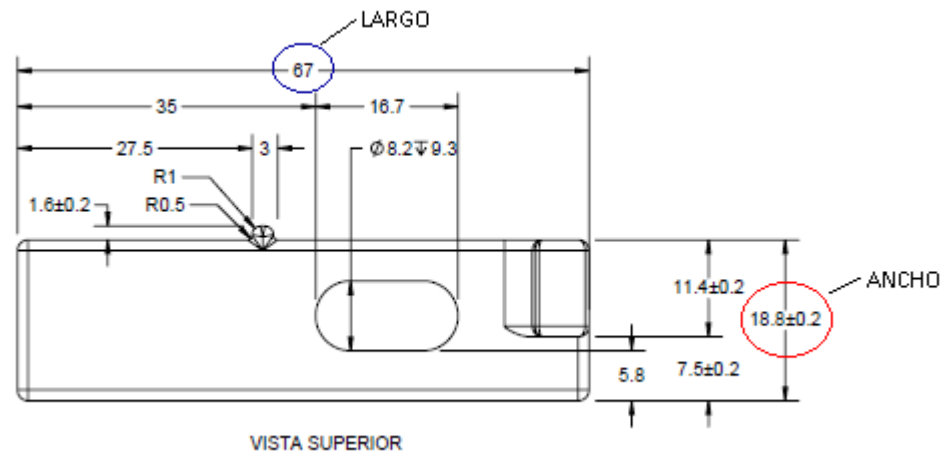
Número de Broca	n (rev/min)	V_f (mm/min)
T1	1052	157
T2	2808	148
T3	2108	141
T4	1816	121
T5	607	127
T6	855	128
T7	817	138
T8	587	88
T9	318	66
T10	1066	181

Fuente propia

Estas velocidades de avance y número de revoluciones encontradas se utilizarán para la fabricación de las placas del molde de inyección.

9.5 Desarrollo de la programación de mecanizados con y sin macros.

Para el desarrollo del Código G con macros primero se seleccionan las medidas de ancho y largo que se quieren tener en la pieza (bloqueador) las cuales serán variables a tener en cuenta, para a partir de ellas se genere la placa del molde de inyección requerida.



*Ilustración 7 Bloqueador De Plástico
Fuente propia*

A partir de estas variables se crear una relación de cambio que permita a la programación con macros establecer el código G que genere la pieza requerida.

Seguido de esto se crea un sistema de ecuaciones que al utilizar las variables del ancho y alto de la pieza (Bloqueador), y se relacionan con las posiciones de los agujeros y medidas de las placas como se muestra a continuación.

#1 = ANCHO DE LA PIEZA X

$$CAMBIO DE LAS POSICIONES EN X = \left\{ \left[\left(\frac{\#1}{18,8} \right) \times 13,8 \right] - 13,8 \right\}$$

Ecuación 3

#2= LARGO DE LA PIEZA Y

$$CAMBIO DE LAS POSICIONES EN y = \left\{ \left[\left(\frac{\#2}{67} \right) \times 62,4 \right] - 62,4 \right\}$$

Ecuación 4

Y por último este cambio tanto en X como en Y se le suman a las posiciones en X originales de las placas para que así se generen las posiciones de los agujeros y las medidas de las placas que se quieren

Por ultimo utilizamos estos datos de las posiciones de los agujeros y las medidas de las placas en el código G para así generar la pieza en la CNC.

PROGRAMACIÓN EN CÓDIGO G CON MACROS DE PLACA EXPULSORA

A continuación podemos observar una parte de Código G con Macros de la placa expulsora, para ver el código G completo ver anexo E.

O9002

N100 #1 = largo de la pieza x

N110 #2 = ancho de la pieza y

N120 #3 = profundidad

N130 #3=#1/67

N140 #4=#3*62,4

N150 #5=#4-62,4

N160 #6=#5/2

N170 #7=#2/18,8

N180 #8=#7*13,8

N190 #9=#8-13,8

N200 #10=#9/2

N210 #11=#6+31,2

N220 #12=#9+30,5

N230 #13=#6+28

N240 #14=#10+27,44

N250 #15=#6+21,63

N260 #16=#10+24,19

N270 #17=#6+18,68

N280 #18=#6+44,17
N290 #19=#10+39,92
N300 #20=#6+65
N310 #21=#10+25,27
N320 G49 M05 M09
N330 G28 G91 Z0 (Home)
N340 G90 T01 M06
N350 G43 H01
N360 S1000 M03 F150
N370 G00 G90 Z30
N380 G00 X00 Y00 C1
N390 G00 G90 Z5 M08
N400 G01 Z - #3
N410 G01 G90 Z5
N420 G00 Z30
N430 G49 M05 M09
N440 G28 G91 Z0 (Home)
N450 G90 T02 M06
N460 G43 H02
N470 S2800 M03 F150
N480 G00 G90 Z30
N490 G00 X#11 Y#12 (D2)
N500 G00 G90 Z5 M08
N510 G01 Z - #13
N520 G01 G90 Z5
N530 G00 Z30

PROGRAMACIÓN EN CÓDIGO G CON MACROS DE LA CONTRA PLACA.

A continuación se puede una parte observar el Código G con Macros de la contra placa, para ver la programación completa ver anexo D.

O9003

N100 #1 = ANCHO DE LA PIEZA X

N110 #2= LARGO DE LA PIEZA Y

N120 #13= PROFUNDIDAD AGUJERO

N130 #3= #1/18,8

N140 #4=#3*13,8

N150 #5=#4-13,8

N160 #6=#5/2

N170 #7=#2/67

N180 #8=#7*62,4

N190 #9=#8-62,4

N200 #10=#9/2

N210 #11=#5+30,5

N220 #12=#10+31,2

N230 #14=#6+24,19

N240 #15=#10+18,68

N250 #16=-#10-21,63

N260 #17=-#10-28

N270 #18=#6+27,44

N280 #19=#5+25

N290 #20=#9+79

N300 #21=#5+75

N310 #22=#9+79

N320 #23=#5+25,7
N330 #24=#9+70,5
N340 #25=#5+80,76
N350 #26=#9+65
N360 #27=#5+45
N370 #28=#9+27.5
N380 G49 M05 M09
N390 G28 G91 Z0 (Home)
N400 G90 T02 M06
N410 G43 H02
N420 S2800.0 M03 F150
N430 G00 G90 Z30
N440 G00 X16,7 Y#12 E2
N450 G00 G90 Z5 M08
N460 G01 Z - #13
N470 G01 G90 Z5
N480 G00 Z30
N490 G00 X16,7 Y-#12 E8
N500 G00 G90 Z5 M08
N510 G01 Z - #13
N520 G01 G90 Z5
N530 G00 Z30

Por otra parte para la creación de los códigos G sin macros se utilizó la herramienta Cimco Edit v5 la cual nos permite hacer una simulación detallada del proceso del proceso de mecanizado.

PROGRAMACIÓN EN CÓDIGO G SIN MACROS DE PLACA EXPULSORA

A continuación se muestra una parte del código G sin Macros de la placa expulsora, para ver la programación completa ver el anexo F.

N100 G00 G40 G49 G80 G90

N110 G00 G28 G91 X0.0 Y0.0 Z0

N120 G90 G49 G40 M09

N130 M05

N140 G00 Z30

N150 T1 M06

N160 G43 H1

N170 S1700 M03 F374

N180 G00 X+0.0 Y0.0

N190 G00 G90 z5

N200 M08

N210 G01 Z-11.5-5{Profundidad}

N220 G01 G90 z5

N230 M09

N240 G49

N250 M05

N260 G00 Z30

N270 T2 M06

N280 G43 H2

N290 S1000 M03 F363

N300 G00 X+31.2 Y16.7

N310 G00 G90 z5
N320 M08
N330 G01 Z-11.45-5{Profundidad}
N340 G01 G90 z5
N350 M09
N360 G00 Z30
N370 G00 X31.2 Y30.5
N380 G01 G90 z5
N390 M08
N400 G01 Z-11.45-5{Profundidad}
N410 G01 G90 z5
N420 M09
N430 G00 Z30
N440 G00 X65.0 Y27.44
N450 G01 G90 z5
N460 M08
N470 G01 Z-11.45-5{Profundidad}
N480 G01 G90 z5
N490 M09
N500 G00 Z30
N510 G00 X31.2 Y-16.7
N520 G01 G90 z5
N530 M08
N540 G01 Z-11.45-5{Profundidad}
N550 G01 G90 z5
N560 M09

N570 G00 Z30

N580 G00 X31.2 Y-30.5

N590 G01 G90 z5

N600 M08

N610 G01 Z-11.45-5{Profundidad}

N620 G01 G90 z5

N630 M09

N640 G00 Z30

Simulación del programa de mecanizado de la placa expulsora en programa CIMCO EDIT V5 Versión Educativa

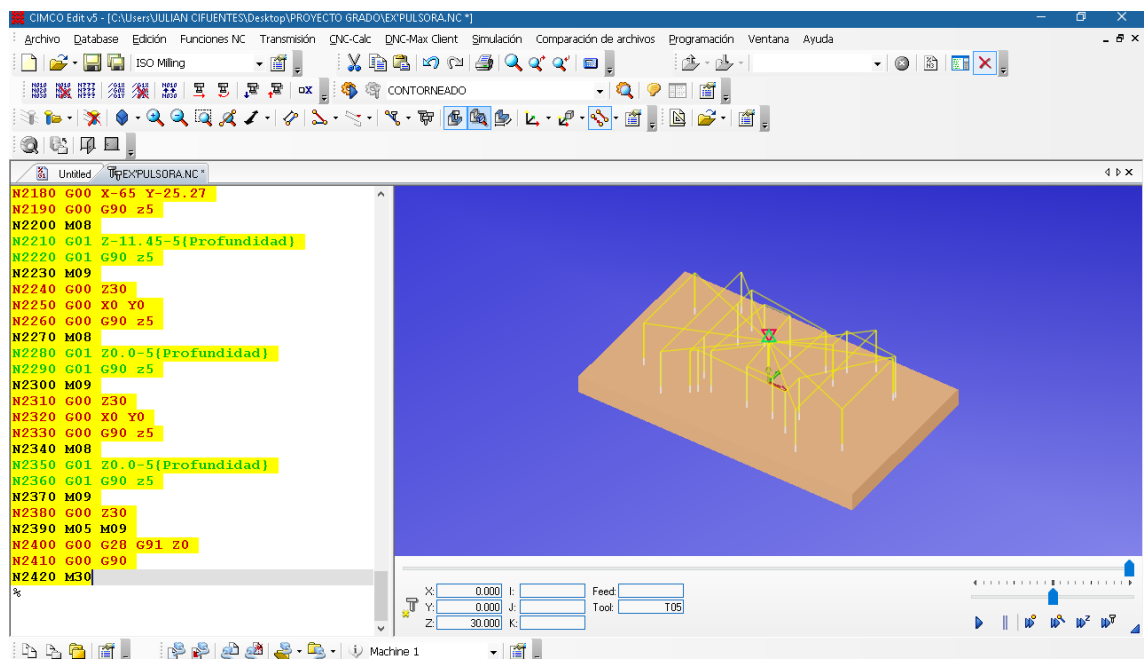


Ilustración 8 Simulación Cimco Edit Licencia Demo Versión Código G Placa Expulsora Fuente propia

Para la creación del código G sin Macros (ver Anexo F) de la placa expulsora se utilizó el programa Cimco Edit el cual es la versión Demo la cual tiene una

duración de 30 días , (ilustración 8), él nos permite hacer una simulación muy completa del proceso de mecanizado, mostrándonos posibles errores. Este código G, junto con el de la contra placa se crea para tener una referencia y poder hacer una comparación muy útil entre este código G sin macros y uno con macros.

PROGRAMACIÓN EN CÓDIGO G SIN MACROS DE CONTRA PLACA

A continuación podemos observar una parte del código G sin Macros de la contra placa

```
N100 G00 G40 G49 G80 G90
N110 G00 X0.0 Y0.0
N120 T6 M06
N130 G43 H06
N140 S1385 M03 F304
N150 G00 Z30
N160 G00 X+75.0 Y70.5
N170 G00 G90 z5
N180 M08
N190 G01 Z-25.0-5{Profundidad}
N200 G01 G90 z5
N210 M09
N220 G00 Z30
N230 G00 X75.0 Y-70.5
N240 G00 G90 z5
N250 M08
N260 G01 Z-25.0-5{Profundidad}
```


N270 G01 G90 z5
N280 M09
N290 G00 Z30
N300 G00 X-75.0 Y70.5
N310 G00 G90 z5
N320 M08
N330 G01 Z-25-5{Profundidad}
N340 G01 G90 z5
N350 M09
N360 G00 Z30
N370 G00 X-75 Y-70.5
N380 G00 G90 z5
N390 M08
N400 G01 Z-25.0-5{Profundidad}
N410 G01 G90 z5
N420 M09
N430 G00 Z30
N440 G40 G49
N450 T7 M06
N460 G43 H7
N470 S1323 M03 F330
N480 G00 X-80.76 Y52.0
N490 G00 G90 z5
N500 M08
N510 G01 Z-25.0-5{Profundidad}
N520 G01 G90 z5

N530 M09

N540 G00 Z30

N550 G00 X-25.0 Y79

N560 G00 G90 z5

N570 M08

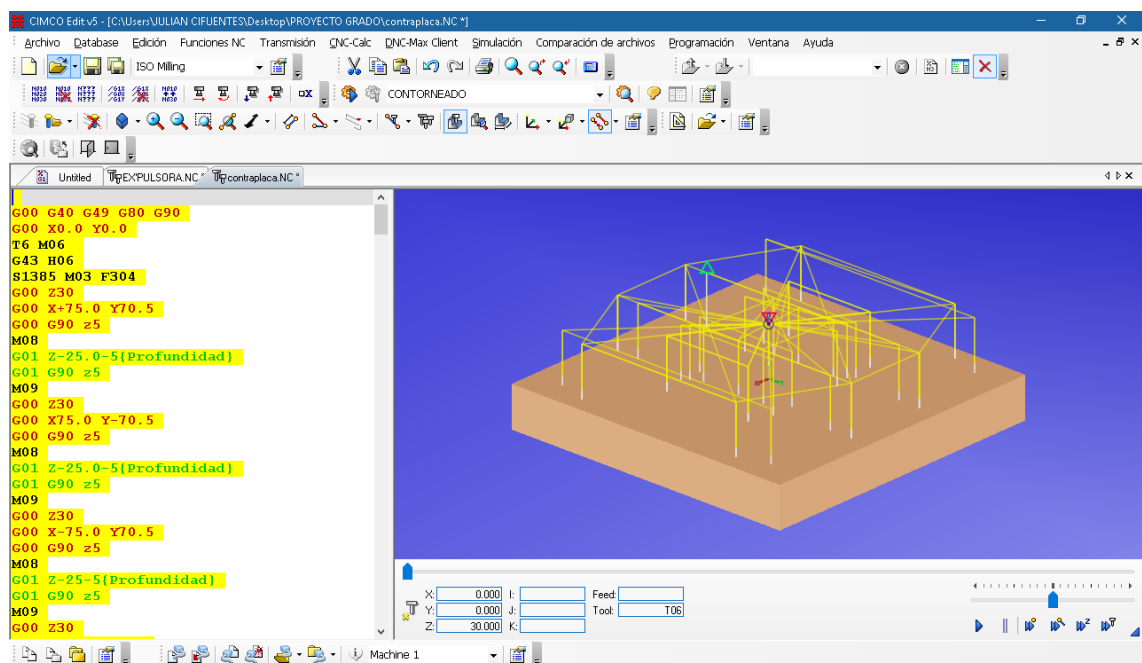
N580 G01 Z-25.0-5{Profundidad}

N590 G01 G90 z5

N600 M09

N610 G00 Z30

Simulación del programa de mecanizado de la contra placa en programa CIMCO EDIT Demo Versión



*Ilustración 9 Simulación en programa Cimco Edit Licencia Demo Versión
Código G Contra placa
Fuente propia*

La ilustración 9 nos muestra una simulación hecha por el programa Cimco Edit licencia Demo Version la cual refleja el proceso de mecanizado que tendría la contraplaca del molde de inyección. Para ver el código G de la contra placa completo ver Anexo C.

9.6 Revisión de la programación y ejecución del programa en el aire.

A continuación se hará la revisión del programa en la pantalla de la maquina CNC.

Es importante siempre antes de correr el programa con el material tener en cuenta que como se realiza la programación de manera manual, esta puede tener errores o puede no ser leída por el software de la máquina CNC adecuadamente, por lo que debe tener una verificación o una revisión.

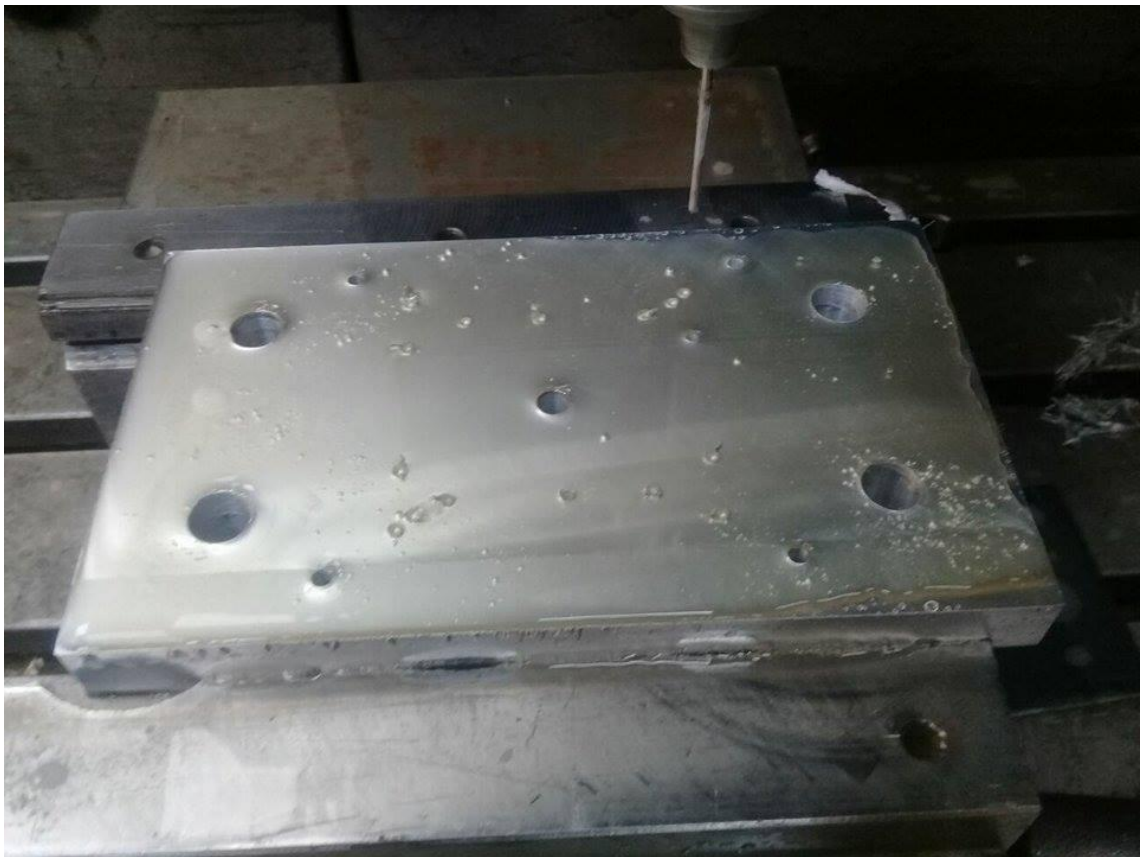


*Ilustración 10 Controlador CNC
Fuente propia*

Por ultimo se realiza la revisión del programa mediante el controlador de la CNC y se verificó que el programa no tiene errores y los movimientos de las herramientas no son inadecuados o fuera de lo previsto.

9.7 Ejecución de los programas de mecanizado y recolección de datos cuantitativos.

A continuación podemos observar el proceso de fabricación de la placa expulsora, como podemos observar el material se compra con las dimensiones requeridas, y se sujeta como lo vemos en la ilustración 11 de tal manera que las posiciones donde quedan los agujeros quede en el aire y no se produzca un choque entre la herramienta y las piezas que sujetan la placa.



*Ilustración 11 Mecanizado Placa Expulsora
Fuete propia*

La fabricación de estas piezas se realizó en la empresa SERTSOL S.A.S.

9.8 Análisis de resultados.

En este análisis de resultados se busca hacer una comparación muy detallada entre la programación con macros y sin macros, se busca establecer las ventajas y desventajas de esta programación con MACROS.

VENTAJAS

Primero se analizaron las ventajas que se tienen al programar en código G con Macros

- La principal ventaja que tiene la programación con macros frente a la sin macros es la posibilidad del primero en ser utilizado para crear no solo una pieza sino una familia de piezas teniendo en cuenta cómo y para que se utiliza el Macros en el programa.
En este caso la programación con Macros realizada permite que ésta se pueda adecuar para cualquier tamaño de la pieza a fabricar con el molde de inyección (ver ilustración 7), solo cambiando adecuadamente las variables (ver el anexo D), por lo que para esta llamada “familia” de piezas se utiliza un solo programa mientras que con la programación en código G sin macros se debe obligatoriamente hacer todo el proceso de manufactura desde el principio tanto para la placa expulsora como para la contra-placa, lo que ahorra un tiempo muy importante si se requiere una producción en masa de estas piezas.
- Otra ventaja notable que se tiene es que se reducen considerablemente los números de bloques que tienen estos programas con Macros.
El programa en código G con Macros de la placa expulsora tiene 172 números de bloques mientras que el programa sin Macros tiene 288 números de bloques, lo que nos dice que en este programa se evita alrededor 41 % de bloques de programa lo que se traduce en menos

tiempo, en la ejecución del programa y en el desarrollo del mismo, por lo que se reducen las probabilidades de que se presente un error humano. Por otra parte en los programa en código G con Macros y sin macros de la contra placa se obtienen una comparación parecida a la anterior, mientras que el programa con macros tiene 329 bloques de programa, el programa sin macros tiene 484 bloques, lo que significa un 32% menos de bloques de programa, por lo que en este programa también se evita un tiempo considerable en la ejecución del programa y en el desarrollo de este mismo además al ser más corto el programa se reducen lo errores que se puedan llegar a tener.

- Otra de las grandes ventajas es que ya que el Macros permite utilizar operaciones matemáticas como; suma, resta, multiplicación, división, exponencial, además de funciones trigonométricas como coseno, seno, tangente, etc. Entonces se puede usar para establecer un sistema de ecuaciones que actué como una función, es decir que permita que el valor que queremos obtener (ya sea de coordenadas, u otros valores) sea función de los valores que demos a las variables que se parametrizan en el programa en código G.

En este caso los valores variables que se le dan son las dimensiones de la pieza a construir con el molde de inyección (bloqueador, ver ilustracion7), por lo que con cada valor se genera una pieza diferente, ya sea la placa expulsora o la contra placa, lo que evita que el ingeniero, tecnólogo u operario que este programando el código tenga que hacer operaciones matemáticas que bien pueden generar un error humano.

Además de esto el Macros tiene una herramienta la cual crea condicionales, es decir si se tiene este valor en una variable o el valor está en un rango el programa ejecuta cierto número de bloque mientras que si el valor es diferente o se encuentra en otro rango el programa ejecuta otro número de bloque lo que genera otro tipo de mecanizado. Este tipo de programación también sería muy útil para piezas que necesiten contorneados o fresado de cavidades.

DESVENTAJAS

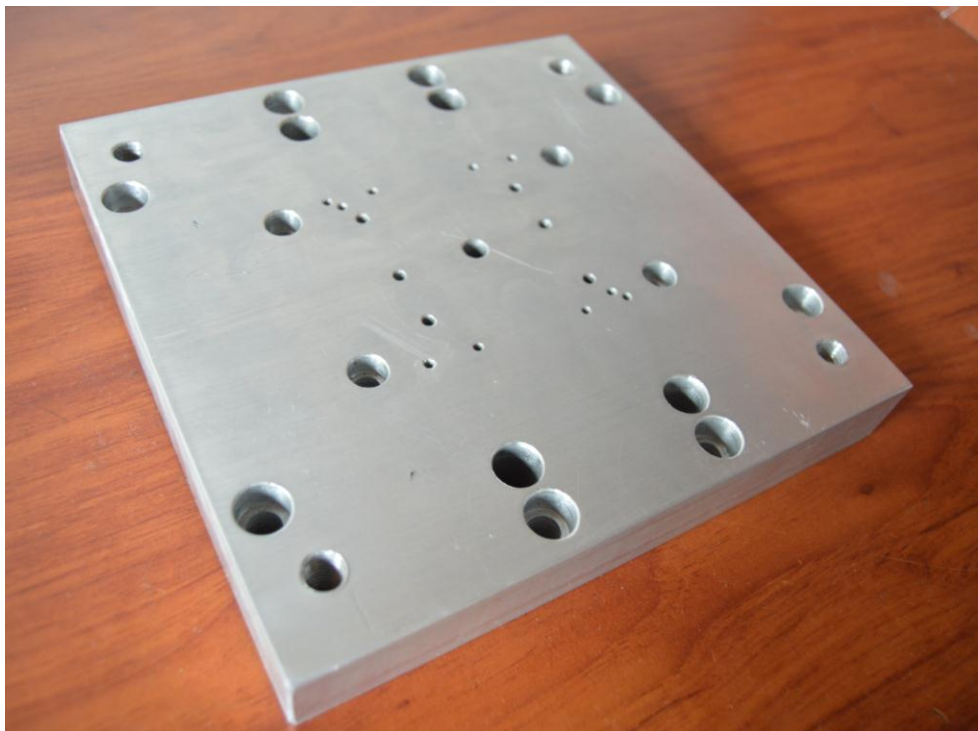
A continuación se nombrarán y describirán las desventajas de la programación con Macros frente a la sin Macros.

- Una de las desventajas que más se debe tener en cuenta a la hora de utilizar la programación con Macros es que el diseñador u operador del centro de mecanizado deben tener bastantes conocimientos y un alto grado de experiencia en este tema ya que se pueden presentar errores en esta programación, los cuales podrían provocar desde un mal maquinado hasta una desconfiguración en el sistema como tal de la CNC, siendo el último error muy costoso de arreglar
- A la hora de investigar sobre la programación con Macros, se preguntó a varios Ingenieros y Tecnólogos que trabajan en empresas que prestan el servicio de mecanizados en C.N.C. y ninguno tenía ni los conocimientos ni la experiencia necesaria para realizar este tipo de programas (con Macros), lo que nos dice que uno de los grandes problemas en la realización de programas con Macros es el desconocimiento de esta herramienta,
- Otra desventaja es que este código G con macros no puede ser simulado por cualquier programa CAM, es decir que es muy difícil saber si tiene o no un error antes de ser corrido en un centro de mecanizado, por lo que también es una de las razón para que muy pocas empresas utilicen esta herramienta en la programación en código G.
- Siendo la programación con Macros muy útil para piezas sencillas y de fácil parametrización, es una gran desventaja utilizarlo para piezas más complejas, como por ejemplo los alabes de una turbina, ya que para estas ocasiones un programa CAM genera esta programación de forma mucho más sencilla, rápida y económica.

Por otra parte, como podemos observar en la programación, tanto de la placa expulsora como en la contra placa, se tiene una gran flexibilidad gracias a las herramientas que se tiene con Macros, por lo que con un programa como el que se hizo en este proyecto se puede fabricar dos placas de un molde de inyección para piezas con diferentes tamaños. Es decir que este programa puede utilizarse para la fabricación de estas placas (placa expulsora o contra placa) para cierto rango de dimensiones en el bloqueador (Ver ilustración 7), es importante tener en cuenta que

9.9 Elaboración y entrega de informe final.

Por último tenemos la placa expulsora y la contra placa terminadas, las cuales no presentan ningún error en las dimensiones y en las posiciones de los agujeros.



*Ilustración 12 CONTRA PLACA Pieza Terminada
Fuente Propia*



*Ilustración 13 PLACA EXPULSORA 'Pieza Terminada
Fuente Propia*

10 COSTOS DE FABRICACIÓN

A continuación en la tabla 5 se muestra el listado con los costos que tuvieron en el desarrollo de este proyecto, se había previsto que la Universidad Distrital FJDC asumiera el costo del mecanizado en CNC, pero no fue posible ya que el centro de mecanizado estuvo fuera de servicio durante todo el proceso de realización de este proyecto de grado.

Tabla 5 Costos del proyecto de grado

DESCRIPCION	COSTOS	FUENTE DE FINANCIACION
ALUMINIO DE 105.2x179.2x11.45 (mm)	\$100.000	Estudiante
ALUMINIO DE 181.2x181.2x25 (mm)	\$150.000	Estudiante
Mecanizado en CNC x 10 horas	\$530.000	Estudiante
Gastos de papelería	\$40.000	Estudiante
Gastos de Transporte	\$50.000	Estudiante
Adquisición de programas CAM	\$220.000	Estudiante
Herramientas de acabado (lima, etc.)	\$20.000	Estudiante
TOTAL	\$1.110.000	

Fuente propia

11 CONCLUSIONES

1. Se mecaniza placa expulsora y contra placa con programación en código G con macros y sin macros respectivamente, lo que nos indica que las programaciones en código G tanto sin macros como con macros son correctas.
2. El código G con macros permite generar la pieza en específico para la cual fue programado con la ventaja de que con solo cambiar las tres dimensiones de la pieza que se quiere crear con el molde de inyección, (largo de la pieza (X), ancho de la pieza (Y) y alto de la pieza (Z)) se cambian las dimensiones de estas placas del molde. Es decir que obtener cualquier tamaño que se requiera de la pieza llamada Bloqueador (ver ilustración 7)
3. La programación en código G con macros es viable siempre y cuando se utilice para la producción de una serie de piezas muy similares las cuales sean sencillas, con caras planas o tengan agujeros en el mismo plano, ya que para piezas más complejas es más recomendable utilizar un sistema CAD/CAM.
4. Para la programación de un código G con Macros para cualquier sistema se deben tener en cuenta cierto lenguaje y normas de programación, poco conocidas, por lo que la empresa que desee implementar esta herramienta de la programación debe capacitar por expertos a sus operarios o encargadas de esta función.
5. La programación con macros permite una programación flexible haciendo que solo un programa se pueda manufacturar toda una familia de piezas además reduce considerablemente el número de bloques.
6. Para la correcta realización de la programación en código G con Macros se debe hacer uso de un manual y seguir las instrucciones que allí se especifiquen.

7. El proceso de manufactura de moldes de inyección es muy costosa, por lo que es necesario y casi obligatorio buscar métodos o herramientas que disminuyan estos altos costos.
8. Se constata que los parámetros tecnológicos de las herramientas seleccionados por medio del Manual General Walter son correctos ya que en el mecanizado de las piezas no se genera rompimiento de las herramientas o mal mecanizado y terminado de las piezas.

12 BIBLIOGRAFÍA

- Bernabé Fernández M. (2007). ingeniería de calidad optimización del proceso de mecanizado en una máquina de control numérico a través del diseño de parámetros. . *Universidad del país vasco*.
- COSMOCAX. (14 de JUNIO de 2017). COSMOCAX. Obtenido de COSMOCAX: <https://cadcamcae.wordpress.com/2007/06/14/el-control-numerico-por-computadora-el-cnc/>
- Julián Pérez Porto , & María Merino. (2012). *Definición.de*. Obtenido de <https://definicion.de/macro/>: <https://definicion.de/macro/>
- Magazine, M. (2015). *Master Magazine*. Obtenido de <https://www.mastermagazine.info/termino/4144.php>
- Martínez, R. (2004). criterios para seleccionar sistemas de diseño y manufactura asistidos por computadora (CAD/CAM). *Univ. Autónoma de cd. Juárez*.
- Rojas castellano, A. (30 de Marzo de 2005). PRIMER EJERCIO “MACROS”. *Unlversidad nacional de Colombia*.
- Rojas, A. (2005). Ejercicio de programación manual con aplicación de Macros. *Universidad Nacional de Colombia*.
- TecnoEdu. (s.f.). *Tecnología Educativa S.A*. Obtenido de La programación nativa de la mayoría de las máquinas de Control Numérico Computarizado se efectúa mediante un lenguaje de bajo nivel llamado G & M.: <https://tecnoedu.com/Denford/GM.php>
- WALTER. (2012). *Catalogo General*.