



FACULTAD DE INGENIERIA

Universidad de Buenos Aires

MAESTRÍA EN SISTEMAS EMBEBIDOS

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

Lectura de fiduciales para máquina CNC

Autor:
Esp. Ing. Pablo Slavkin

Director:
MEE. Ing. Norberto M. Lerendegui (IEEE)

Jurados:
Ing. Ariel Hernandez
Mg. Ing. Lucio Martinez (CNEA)
Dr. Daniel Minsky (CNEA/CONICET)

*Este trabajo fue realizado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires,
entre marzo de 2020 y diciembre de 2020.*

Resumen

En el presente trabajo se presenta el desarrollo de un dispositivo electrónico capaz de dotar de visión artificial a una máquina de mecanizado por control numérico CNC de la fábrica española Wolfcut para permitir el alineamiento automático de mecanizados 2D mediante la lectura de marcas fiduciales. Utilizando Linux sobre la plataforma Beagleboard, se desarrollaron los drivers del kernel en C para interactuar con un controlador de movimientos Weihong NK105, se implementó una interfaz de control web con HTML, Javascript y Flask, se habilitó la carga de archivos USB remota mediante la tecnología configFS, y se realizó el procesamiento de video desde una cámara WIFI mediante la biblioteca PythonCV.

Agradecimientos

A Gregorio, Zulema, Dani y Mary

Índice general

Resumen	I
1. Introducción general	1
1.1. Historia y principio de funcionamiento	1
1.1.1. Programa	2
1.1.2. Controlador	3
1.1.3. Maquina	4
1.2. Problema de alineacion en 2D	6
1.2.1. Introducción a las maquinas CNC	7
Una subsubsección	8
1.2.2. Guía matemática rápida para L ^A T _E X	8
1.3. Utilizando esta plantilla	8
1.4. Qué incluye esta plantilla	9
1.4.1. Carpetas	9
1.4.2. Archivos	9
1.5. Entorno de trabajo	11
1.5.1. Paquetes adicionales	11
1.5.2. Configurando TexMaker	11
1.6. Personalizando la plantilla, el archivo memoria.tex	13
1.7. El código del archivo memoria.tex explicado	13
1.8. Bibliografía	14
Bibliografía	17

Índice de figuras

1.1. Jhon Parsons junto a una de sus maquinas, considerado el inventor de la maquina de control numerico NC.	1
1.2. Los tres componenentes basicos de una maquina CNC.	2
1.3. Secuencia de pasos para operar una maquina CNC primigenia. A) Ingeniero escribiendo en papel la lista de operaciones para mecanizar una pieza en lenguaje GCode. B) Operadora transcribiendo la lista de operaciones a una cinta plastica perforada C) Lector de cinta multiperforada que controla los movimientos de la maquina.	2
1.4. Secuencia de pasos para operar una maquina CNC moderna. A) Se diseña la pieza en el CAD. C) Se simula el proceso de corte en el CAM. C) Se exporta desde el CAM un archivo en lenguaje GCode con las instrucciones de maquina que leera el controlador.	3
1.5. La etapa de control se suele separar en dos: controladr logico y driver de potencia	4
1.6. Esquema de una maquina de 3 ejes perpendiculares como las que se analizan en esta memoria.	5
1.7. Maquinas CNC fabricadas por la empresa Wolfcut. A) Fresadora de 3 ejes para corte y mecanizado de madera, plasticos, carton, aluminio, etc. B) Maquina de 2 ejes de corte por cuchilla para carton, papel, calcos, etc. C) Maquina de 3 ejes para corte y grabado laser de materiales plasticos, madera, carton, papel, etc.	6
1.8. Ejemplo de mecanizado de una letra 'W' en una placa de madera virgen sin alineacion.	7
1.9. Ejemplo de mecanizado de una letra 'W' en una placa de madera previamente impresa pero que esta desplazada rotada y escalada segun el diseno original.	7
1.10. Diagrama de capas de las partes principales de una maquina CNC	8
1.11. Entorno de trabajo de texMaker.	12
1.12. Definir memoria.tex como documento maestro.	12

Índice de tablas

1.1. Modelos de controladores	4
1.2. Modelos de drivers	5

Dedicado a Juli, Valen, Maxi y Leon...

Capítulo 1

Introducción general

En el presente capitulo se expone una breve resena historica de las maquinas CNC, su principio de funcionamiento y su uso en la industria. Hacia el final se introduce la problematica de la alineacion de piezas en 2D.

1.1. Historia y principio de funcionamiento

Hacia finales de la decada del '40, el mecanico inventor Jhon Parsons¹ retratado en la figura 1.1, logro motorizar una agujereadora de banco de precision y automatizarla con el uso de una cinta perforada. A este invento se lo considera la primera maquina de control numerico o NC por sus siglas en ingles (*numerical control*).

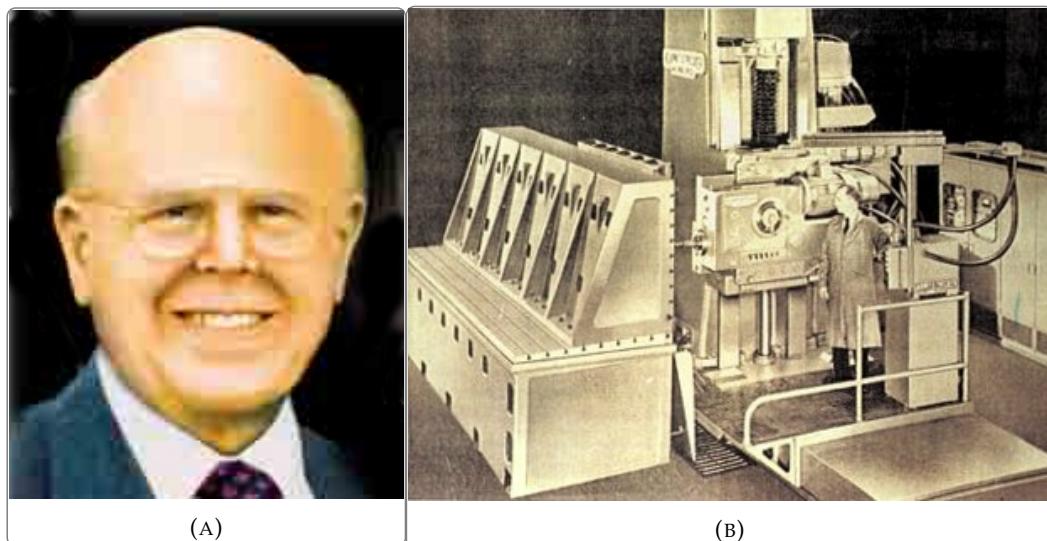


FIGURA 1.1. Jhon Parsons junto a una de sus maquinas, considerado el inventor de la maquina de control numerico NC.

Luego de varias decadas, con el advenimiento de la computadoras, se reemplazaron las cintas perforadas por programas de computadoras, dando lugar a las maquinas de control numerico computarizado o CNC por sus signas en ingles (*computer numerical control*).

A pesar del paso del tiempo y los avances tecnologicos, las partes principales de una maquina CNC siguen siendo las mismas que se describen en la figura 1.2.

¹https://en.wikipedia.org/wiki/John_T._Parsons



FIGURA 1.2. Los tres componenentes basicos de una maquina CNC.

1.1.1. Programa

El programa consiste en una serie de instrucciones necesarias para obtener una determinada pieza y se escribe en un lenguaje conocido como GCode[1]. Este lenguaje fue creado por el Instituto tecnológico de Massachusetts en la década del 50 y especificado en el documento NIST-RS274-D [2]. Originalmente los ingenieros de mecanizado lo escribían manualmente en una planilla y luego, mediante una máquina de mecanografía, se transcribía a una cinta perforada que sería luego interpretada por el controlador de movimientos. Se pueden ver algunas fotos de este primigenio proceso en la figura 1.3

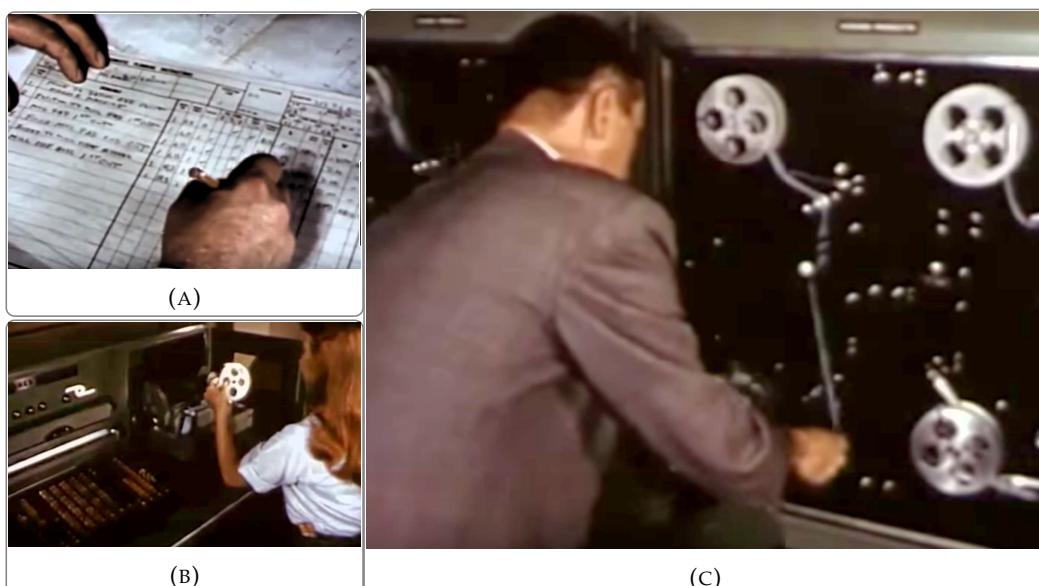


FIGURA 1.3. Secuencia de pasos para operar una maquina CNC primigenia. A) Ingeniero escribiendo en papel la lista de operaciones para mecanizar una pieza en lenguaje GCode. B) Operadora transcribiendo la lista de operaciones a una cinta plastica perforada. C) Lector de cinta multiperforada que controla los movimientos de la maquina.

En el presente se diseña la pieza en 3D con la ayuda de programas de diseño asistido por computadora CAD por sus siglas en inglés (computer aided design), luego se procesa el modelo con un programa de manufactura asistida por computadora CAM por sus siglas en inglés (computer aided manufacturing) y el resultado es un archivo de texto en lenguaje GCode que se almacena digitalmente y que será luego procesado por el controlador.

Esta secuencia es conocida como diseño CAD/CAM y se muestra en la figura 1.4

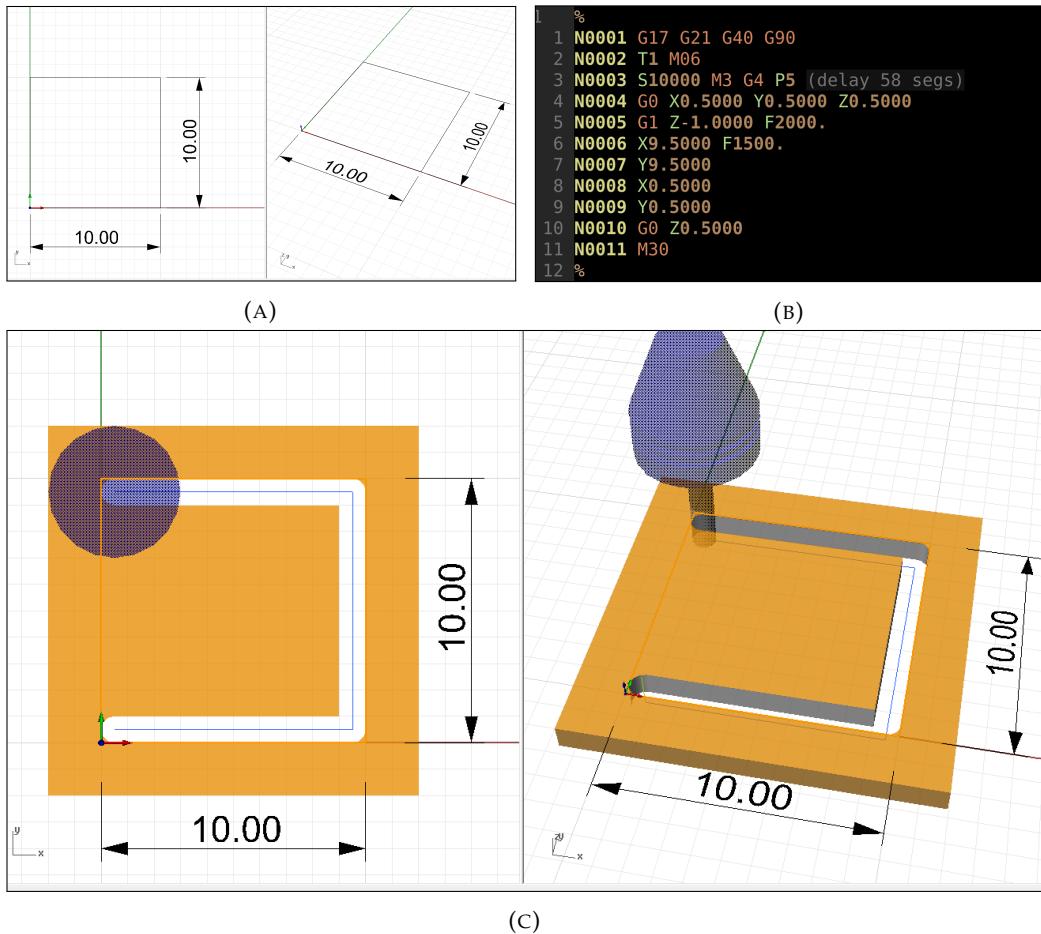


FIGURA 1.4. Secuencia de pasos para operar una maquina CNC moderna. A) Se diseña la pieza en el CAD. C) Se simula el proceso de corte en el CAM. C) Se exporta desde el CAM un archivo en lenguaje GCode con las instrucciones de maquina que leera el controlador.

1.1.2. Controlador

El controlador de movimientos es un equipo electronico capaz de leer un programa en lenguaje GCode y proveer las salidas adecuadas para mover la maquina. Es usual que a la salida del controlador se conecten amplificadores de señal conocidos como drivers que proveen la potencia suficiente para mover los motores y mecanismos montados en la maquina.

De esta manera el controlador se compone de etapas, controlador logico y drivers como se aprecia en la figura 1.5.

En función de la complejidad requerida para la maquina y de los requisitos de potencia para los movimientos se dimensionan el controlador y los drivers.

En las tablas 1.1 y 1.2 se listan algunos modelos de controladores y drivers comerciales listando las características principales.



FIGURA 1.5. La etapa de control se suele separar en dos: controlador logico y driver de potencia

TABLA 1.1. Modelos de controladores CNC disponibles en el mercado

Características	Imagen
Controlador dependiente de una PC y conexión por puerto paralelo. Solución económica para máquinas hobbistas de baja performance.	
Controlador integrado de media performance, ideal para máquinas profesionales pero de baja complejidad. Este es el controlador que se usará en este trabajo para realizar los ensayos.	
Controlador autónomo profesional de gran performance y opciones de operación.	

1.1.3. Maquina

En términos generales la máquina es un conjunto de piezas electromecánicas que permiten mover el elemento de mecanizado en varias dimensiones.

En algunas máquinas el elemento de mecanizado permanece fijo y lo que se mueve es la pieza a mecanizar.

Suelen ser motorizadas, pero también las hay con actuadores lineales, sistemas hidráulicos o una combinación de todos estos.

Dependiendo el propósito de la máquina se definen los grados de libertad del movimiento.

Es usual utilizar tres ejes perpendiculares para mesas de corte planos, seis ejes para centros de mecanizado de piezas complejas, seis para brazos robóticos pero

TABLA 1.2. Modelos de drivers de motores

Características	Imagen
Driver para motores paso a paso pequenos, economicos, ideales para maquinas simples, impresoras 3D, y hobby.	
Driver para motores paso a paso medianos, ideales para maquinas de media precision y mecanica semipesada.	
Driver para motores BLDC, de potencia media, adecuados para maquinas de extrema precision y escalables en potencia.	

solo dos para corte y grabado de piezas planas con laser.

Para el desarrollo de este trabajo se estudian solamente maquinas de dos y tres ejes perpendiculares, dado que la empresa interesada comercializa principalmente este tipo de estructuras que se esquematiza en la figura 1.6.

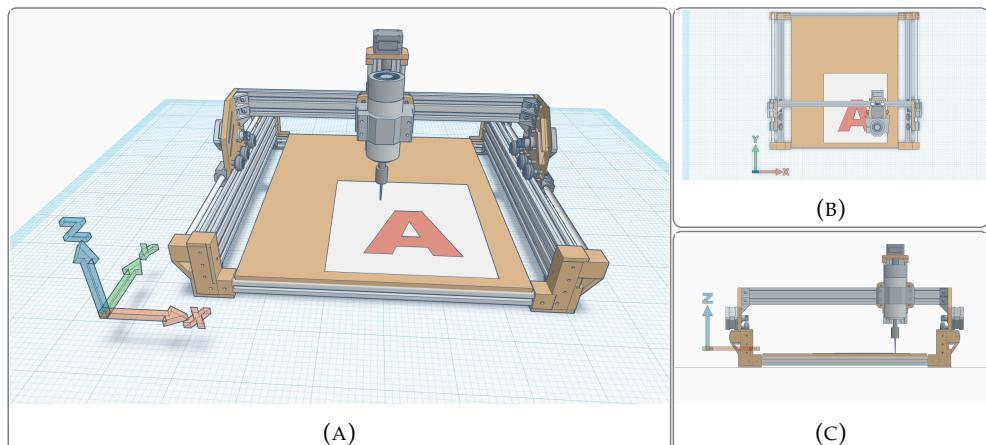


FIGURA 1.6. Esquema de una maquina de 3 ejes perpendiculares como las que se analizan en esta memoria.

Se muestran algunos modelos de maquinas fabricadas por Wolfcut en la figura 1.7

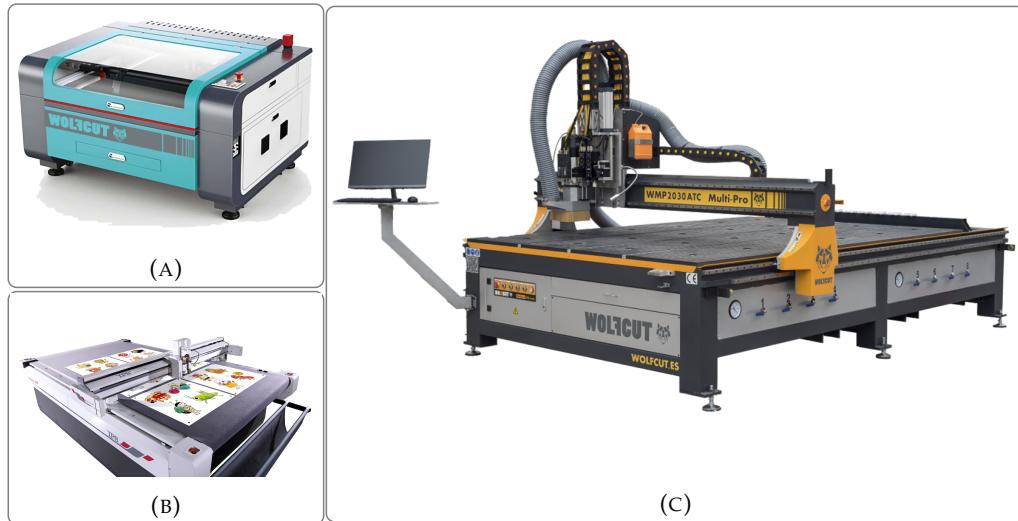


FIGURA 1.7. Maquinas CNC fabricadas por la empresa Wolfcut.
A) Fresadora de 3 ejes para corte y mecanizado de madera, plasticos, carton, aluminio, etc. B) Maquina de 2 ejes de corte por cuchilla para carton, papel, calcos, etc. C) Maquina de 3 ejes para corte y grabado laser de materiales plasticos, madera, carton, papel, etc.

1.2. Problema de alineacion en 2D

Dado un trabajo de corte, por ejemplo el corte de una letra 'W' en una placa de madera virgen los pasos para realizar el trabajo se pueden resumir en la siguiente lista:

1. Realizar el diseño de la letra 'W' con las herramientas CAD/CAM.
2. Cargar el programa en el controlador.
3. Fijar la placa de madera en la mesa.
4. Posicionar la fresa de corte sobre la placa en la coordenada de inicio de la letra 'W'.
5. Cortar.

En la figura 1.8 se puede ver que dado que la placa de madera esta virgen, no hace falta posicionar de manera precisa la la placa en la mesa.

En ciertas ocasiones se requiere que el trabajo de corte se realice sobre una pieza previamente impresa. En el ejemplo la placa de madera podria haber sido impresa en otra maquina, y luego es necesario cortar su perimetro. En este caso sera necesario utilizar alguna tecnica para posicionar con exactitud la placa de madera en la maquina para conseguir la alineacion.

Tambien es usual encontrar que las maquinas tengan pequenas diferencias de escala a la hora de ejecutar los trabajos. Por ejemplo la letra 'W' del ejemplo podria tener una dimension mayor que la especificada en el archivo de diseño. En este caso habra que escalar el archivo de diseño para que al ejecutar el trabajo se compensen los desajustes.

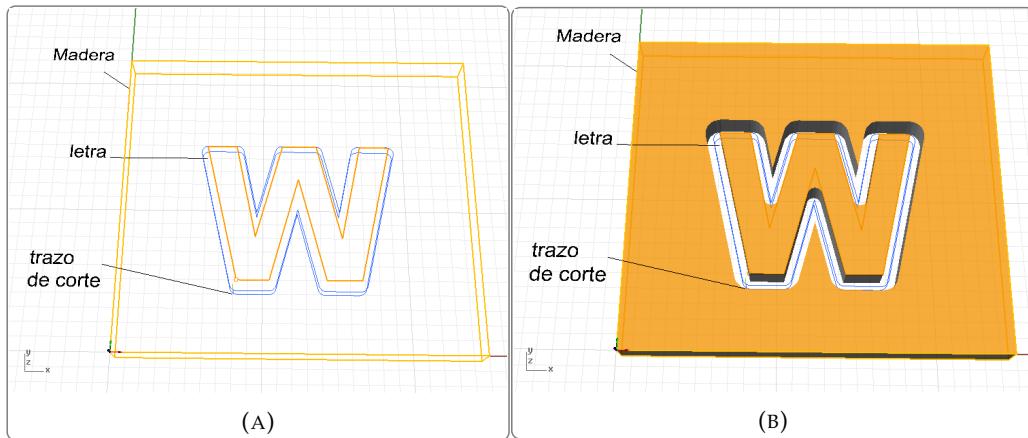


FIGURA 1.8. Ejemplo de mecanizado de una letra 'W' en una placa de madera virgen sin alineacion.

En la figura 1.9 se muestra esta situación con una placa de madera impresa con una letra 'W' que esta desplazada, rotada y escalada con respecto al archivo original de diseño.

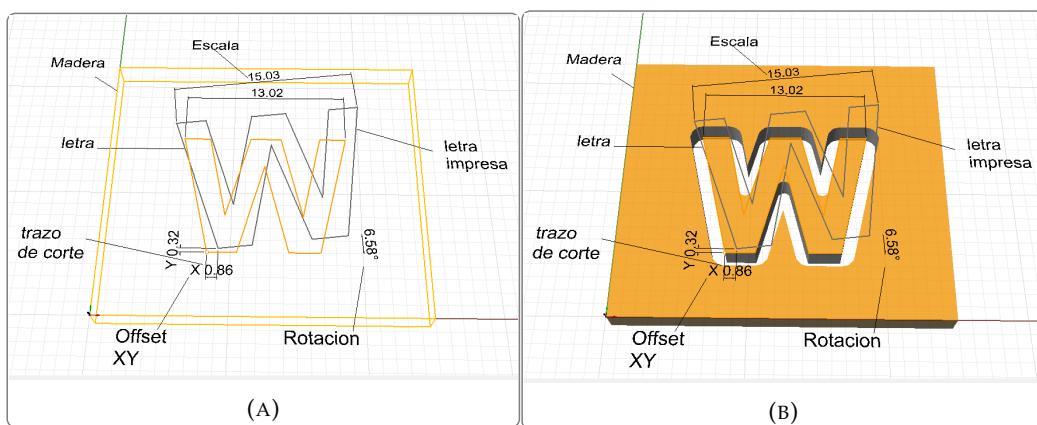


FIGURA 1.9. Ejemplo de mecanizado de una letra 'W' en una placa de madera previamente impresa pero que esta desplazada rotada y escalada segun el diseño original.

1.2.1. Introducción a las maquinas CNC

Si sos nuevo en L^AT_EX, hay un muy buen libro electrónico - disponible gratuitamente en Internet como un archivo PDF - llamado, «A (not so short) Introduction to L^AT_EX». El título del libro es generalmente acortado a simplemente *lshort*. Puede descargar la versión más reciente en inglés (ya que se actualiza de vez en cuando) desde aquí: <http://www.ctan.org/tex-archive/info/lshort/english/lshort.pdf>

Se puede encontrar la versión en español en la lista en esta página:
<http://www.ctan.org/tex-archive/info/lshort/>

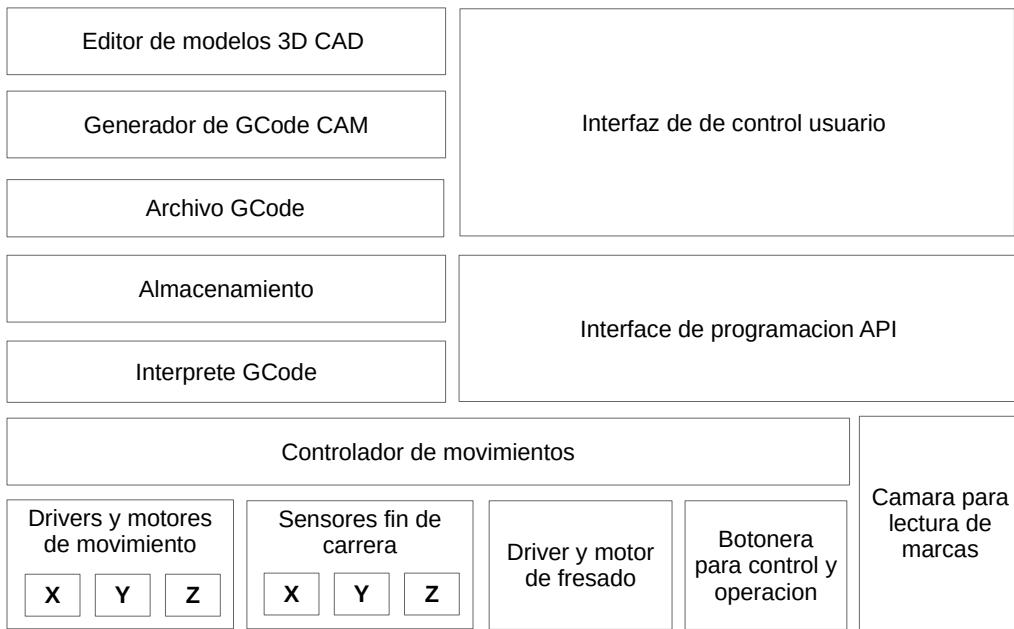


FIGURA 1.10. Diagrama de capas de las partes principales de una maquina CNC

Una subsubsección

Acá tiene un ejemplo de una “subsubsección” que es el cuarto nivel de ordenamiento del texto, después de capítulo, sección y subsección. Como se puede ver, las subsubsecciones no van numeradas en el cuerpo del documento ni en el índice. El formato está definido por la plantilla y no debe ser modificado.

1.2.2. Guía matemática rápida para L^AT_EX

Si estás escribiendo un documento con mucho contenido matemático, entonces es posible que desees leer el documento de la AMS (American Mathematical Society) llamado, «A Short Math Guide for L^AT_EX». Se puede encontrar en línea en el siguiente link: <http://www.ams.org/tex/amslatex.html> en la sección «Additional Documentation» hacia la parte inferior de la página.

1.3. Utilizando esta plantilla

Si estás familiarizado con L^AT_EX, entonces podés explorar la estructura de directorios de esta plantilla y proceder a personalizarla agregando tu información en el bloque *INFORMACIÓN DE LA PORTADA* en el archivo **memoria.tex**.

Se puede continuar luego modificando el resto de los archivos siguiendo los lineamientos que se describen en la sección 1.6 en la página 13.

Debés asegurarte de leer el capítulo ?? acerca de las convenciones utilizadas para las Memoria de los Trabajos Finales de la Maestría en Sistemas Embebidos.

Si sos nuevo en L^AT_EX, se recomienda que continúes leyendo el documento ya que contiene información básica para aprovechar el potencial de esta herramienta.

1.4. Qué incluye esta plantilla

1.4.1. Carpetas

Esta plantilla se distribuye como una único archivo .zip que se puede descomprimir en varios archivos y carpetas. Asimismo, se puede consultar el repositorio git para obtener la última versión de los archivos, <https://github.com/patriciobos/Plantilla-CESE.git>. Los nombres de las carpetas son, o pretender ser, auto-explicativos.

Appendices – Esta es la carpeta donde se deben poner los apéndices. Cada apéndice debe ir en su propio archivo .tex. Se incluye un ejemplo y una plantilla en la carpeta.

Chapters – Esta es la carpeta donde se deben poner los capítulos de la memoria. Cada capítulo debe ir en su propio archivo .tex por separado. Se ofrece por defecto, la siguiente estructura de capítulos y se recomienda su utilización dentro de lo posible:

- Capítulo 1: Introducción general
- Capítulo 2: Introducción específica
- Capítulo 3: Diseño e implementación
- Capítulo 4: Ensayos y resultados
- Capítulo 5: Conclusiones

Esta estructura de capítulos es la que se recomienda para las memorias de la especialización.

Figures – Esta carpeta contiene todas las figuras de la memoria. Estas son las versiones finales de las imágenes que van a ser incluidas en la memoria. Pueden ser imágenes en formato *raster*² como .png, .jpg o en formato vectoriales³ como .pdf, .ps. Se debe notar que utilizar imágenes vectoriales disminuye notablemente el peso del documento final y acelera el tiempo de compilación por lo que es recomendable su utilización siempre que sea posible.

1.4.2. Archivos

También están incluidos varios archivos, la mayoría de ellos son de texto plano y se puede ver su contenido en un editor de texto. Después de la compilación inicial, se verá que más archivos auxiliares son creados por LaTeX o BibTeX, pero son de uso interno y no es necesario hacer nada en particular con ellos. Toda la información necesaria para compilar el documento se encuentra en los archivos .tex, .bib, .cls y en las imágenes de la carpeta Figures.

²https://en.wikipedia.org/wiki/Raster_graphics

³https://en.wikipedia.org/wiki/Vector_graphics

referencias.bib - este es un archivo importante que contiene toda la información de referencias bibliográficas que se utilizarán para las citas en la memoria en conjunto con BibTeX. Usted puede escribir las entradas bibliográficas en forma manual, aunque existen también programas de gestión de referencias que facilitan la creación y gestión de las referencias y permiten exportarlas en formato BibTeX. También hay disponibles sitios web como books.google.com que permiten obtener toda la información necesaria para una cita en formato BibTeX. Ver sección 1.8

MastersDoctoralThesis.cls – este es un archivo importante. Es el archivo con la clase que le informa a L^AT_EX cómo debe dar formato a la memoria. El usuario de la plantilla no debería necesitar modificar nada de este archivo.

memoria.pdf – esta es su memoria con una tipografía bellamente compuesta (en formato de archivo PDF) creado por L^AT_EX. Se distribuye con la plantilla y después de compilar por primera vez sin hacer ningún cambio se debería obtener una versión idéntica a este documento.

memoria.tex – este es un archivo importante. Este es el archivo que tiene que compilar L^AT_EX para producir la memoria como un archivo PDF. Contiene un marco de trabajo y estructuras que le indican a L^AT_EX cómo diagramar la memoria. Está altamente comentado para que se pueda entender qué es lo que realiza cada línea de código y por qué está incluida en ese lugar. En este archivo se debe completar la información personalizada de las primeras sección según se indica en la sección 1.6.

Archivos que *no* forman parte de la distribución de la plantilla pero que son generados por L^AT_EX como archivos auxiliares necesarios para la producción de la memoria.pdf son:

memoria.aux – este es un archivo auxiliar generado por L^AT_EX, si se borra L^AT_EX simplemente lo regenera cuando se compila el archivo principal **memoria.tex**.

memoria.bbl – este es un archivo auxiliar generado por BibTeX, si se borra BibTeX simplemente lo regenera cuando se compila el archivo principal **memoria.tex**. Mientras que el archivo **.bib** contiene todas las referencias que hay, este archivo **.bbl** contiene sólo las referencias que han sido citadas y se utiliza para la construcción de la bibliografía.

memoria.blg – este es un archivo auxiliar generado por BibTeX, si se borra BibTeX simplemente lo regenera cuando se compila el archivo principal **memoria.tex**.

memoria.lof – este es un archivo auxiliar generado por L^AT_EX, si se borra L^AT_EX simplemente lo regenera cuando se compila el archivo principal **memoria.tex**. Le indica a L^AT_EX cómo construir la sección *Lista de Figuras*.

memoria.log – este es un archivo auxiliar generado por L^AT_EX, si se borra L^AT_EX simplemente lo regenera cuando se compila el archivo principal **memoria.tex**. Contiene mensajes de L^AT_EX. Si se reciben errores o advertencias durante la compilación, se guardan en este archivo **.log**.

memoria.lot – este es un archivo auxiliar generado por L^AT_EX, si se borra L^AT_EX simplemente lo regenera cuando se compila el archivo principal **memoria.tex**. Le indica a L^AT_EX cómo construir la sección *Lista de Tablas*.

memoria.out – este es un archivo auxiliar generado por L^AT_EX, si se borra L^AT_EX simplemente lo regenera cuando se compila el archivo principal **memoria.tex**.

De esta larga lista de archivos, sólo aquellos con la extensión **.bib**, **.cls** y **.tex** son importantes. Los otros archivos auxiliares pueden ser ignorados o borrados ya que L^AT_EX y BibTeX los regenerarán durante la compilación.

1.5. Entorno de trabajo

Ante de comenzar a editar la plantilla debemos tener un editor L^AT_EX instalado en nuestra computadora. En forma análoga a lo que sucede en lenguaje C, que se puede crear y editar código con casi cualquier editor, existen ciertos entornos de trabajo que nos pueden simplificar mucho la tarea. En este sentido, se recomienda, sobre todo para los principiantes en L^AT_EX la utilización de TexMaker, un programa gratuito y multi-plataforma que está disponible tanto para windows como para sistemas GNU/linux.

La versión más reciente de TexMaker es la 4.5 y se puede descargar del siguiente link: <http://www.xm1math.net/texmaker/download.html>. Se puede consultar el manual de usuario en el siguiente link:
<http://www.xm1math.net/texmaker/doc.html>.

1.5.1. Paquetes adicionales

Si bien durante el proceso de instalación de TexMaker, o cualquier otro editor que se haya elegido, se instalarán en el sistema los paquetes básicos necesarios para trabajar con L^AT_EX, la plantilla de los trabajos de Especialización y Maestría requieren de paquete adicionales.

Se indican a continuación los comandos que se deben introducir en la consola de Ubuntu (ctrl + alt + t) para instalarlos:

```
$ sudo apt install texlive-lang-spanish texlive-science
$ sudo apt install texlive-bibtex-extra biber
$ sudo apt install texlive texlive-fonts-recommended
$ sudo apt install texlive-latex-extra
```

1.5.2. Configurando TexMaker

Una vez instalado el programa y los paquetes adicionales se debe abrir el archivo memoria.tex con el editor para ver una pantalla similar a la que se puede apreciar en la figura 1.11.

Notar que existe una vista llamada Estructura a la izquierda de la interfaz que nos permite abrir desde dentro del programa los archivos individuales de los capítulos. A la derecha se encuentra una vista con el archivo propiamente dicho para su edición. Hacia la parte inferior se encuentra una vista del log con información de los resultados de la compilación. En esta última vista pueden aparecer advertencias o *warning*, que normalmente pueden ser ignorados, y los errores que se indican en color rojo y deben resolverse para que se genere el PDF de salida.

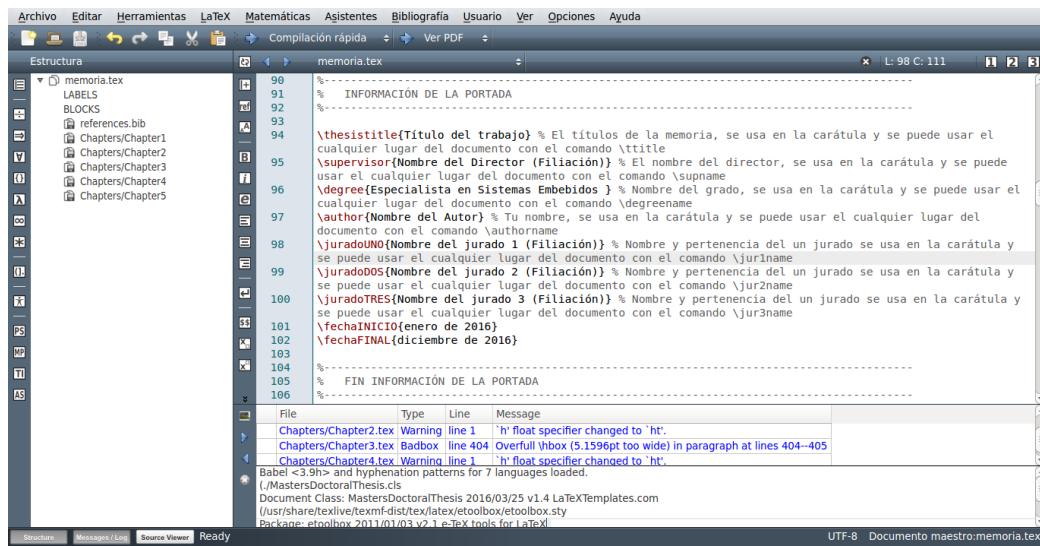


FIGURA 1.11. Entorno de trabajo de texMaker.

Recordar que el archivo que se debe compilar con PDFLaTeX es **memoria.tex**, si se tratara de compilar alguno de los capítulos saldría un error. Para salvar la molestia de tener que cambiar de archivo para compilar cada vez que se realice una modificación en un capítulo, se puede definir el archivo **memoria.tex** como “documento maestro” yendo al menú opciones ->“definir documento actual como documento maestro”, lo que permite compilar con PDFLaTeX memoria.tex directamente desde cualquier archivo que se esté modificando . Se muestra esta opción en la figura 1.12.

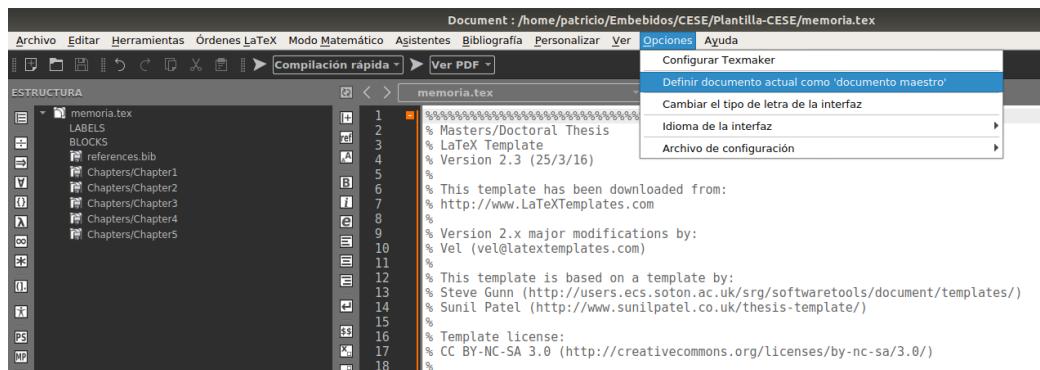


FIGURA 1.12. Definir memoria.tex como documento maestro.

En el menú herramientas se encuentran las opciones de compilación. Para producir un archivo PDF a partir de un archivo .tex se debe ejecutar PDFLaTeX (el shortcut es F6). Para incorporar nueva bibliografía se debe utilizar la opción BibTeX del mismo menú herramientas (el shortcut es F11).

Notar que para actualizar las tablas de contenidos se debe ejecutar PDFLaTeX dos veces. Esto se debe a que es necesario actualizar algunos archivos auxiliares antes de obtener el resultado final. En forma similar, para actualizar las referencias se debe ejecutar primero PDFLaTeX, después BibTeX y finalmente PDFLaTeX dos veces por idénticos motivos.

1.6. Personalizando la plantilla, el archivo **memoria.tex**

Para personalizar la plantilla se debe incorporar la información propia en los distintos archivos **.tex**.

Primero abrir **memoria.tex** con TexMaker (o el editor de su preferencia). Se debe ubicar dentro del archivo el bloque de código titulado *INFORMACIÓN DE LA PORTADA* donde se deben incorporar los primeros datos personales con los que se construirá automáticamente la portada.

1.7. El código del archivo **memoria.tex** explicado

El archivo **memoria.tex** contiene la estructura del documento y es el archivo de mayor jerarquía de la memoria. Podría ser equiparable a la función *main()* de un programa en C, o mejor dicho al archivo fuente **.c** donde se encuentra definida la función *main()*.

La estructura básica de cualquier documento de L^AT_EX comienza con la definición de clase del documento, es seguida por un preámbulo donde se pueden agregar funcionalidades con el uso de paquetes (equiparables a bibliotecas de C), y finalmente, termina con el cuerpo del documento, donde irá el contenido de la memoria.

```
\documentclass{article}      <- Definicion de clase
\usepackage{listings}        <- Preambulo

\begin{document}             <- Comienzo del contenido propio
    Hello world!
\end{document}
```

El archivo **memoria.tex** se encuentra densamente comentado para explicar qué páginas, secciones y elementos de formato está creando el código L^AT_EX en cada línea. El código está dividido en bloques con nombres en mayúsculas para que resulte evidente qué es lo que hace esa porción de código en particular. Inicialmente puede parecer que hay mucho código L^AT_EX, pero es principalmente código para dar formato a la memoria por lo que no requiere intervención del usuario de la plantilla. Sí se deben personalizar con su información los bloques indicados como:

- Informacion de la memoria
- Resumen
- Agradecimientos
- Dedicatoria

El índice de contenidos, las listas de figura de tablas se generan en forma automática y no requieren intervención ni edición manual por parte del usuario de la plantilla.

En la parte final del documento se encuentran los capítulos y los apéndices. Por defecto se incluyen los 5 capítulos propuestos que se encuentran en la carpeta /Chapters. Cada capítulo se debe escribir en un archivo **.tex** separado y se debe

poner en la carpeta *Chapters* con el nombre **Chapter1**, **Chapter2**, etc... El código para incluir capítulos desde archivos externos se muestra a continuación.

```
\include{Chapters/Chapter1}
\include{Chapters/Chapter2}
\include{Chapters/Chapter3}
\include{Chapters/Chapter4}
\include{Chapters/Chapter5}
```

Los apéndices también deben escribirse en archivos .tex separados, que se deben ubicar dentro de la carpeta *Appendices*. Los apéndices vienen comentados por defecto con el carácter % y para incluirlos simplemente se debe eliminar dicho carácter.

Finalmente, se encuentra el código para incluir la bibliografía en el documento final. Este código tampoco debe modificarse. La metodología para trabajar las referencias bibliográficas se desarrolla en la sección [1.8](#).

1.8. Bibliografía

Las opciones de formato de la bibliografía se controlan a través del paquete de latex *biblatax* que se incluye en la memoria en el archivo memoria.tex. Estas opciones determinan cómo se generan las citas bibliográficas en el cuerpo del documento y cómo se genera la bibliografía al final de la memoria.

En el preámbulo se puede encontrar el código que incluye el paquete biblatax, que no requiere ninguna modificación del usuario de la plantilla, y que contiene las siguientes opciones:

```
\usepackage[backend=bibtex,
            natbib=true,
            style=numeric,
            sorting=none]
{biblatax}
```

En el archivo **reference.bib** se encuentran las referencias bibliográficas que se pueden citar en el documento. Para incorporar una nueva cita al documento lo primero es agregarla en este archivo con todos los campos necesario. Todas las entradas bibliográficas comienzan con @ y una palabra que define el formato de la entrada. Para cada formato existen campos obligatorios que deben completarse. No importa el orden en que las entradas estén definidas en el archivo .bib. Tampoco es importante el orden en que estén definidos los campos de una entrada bibliográfica. A continuación se muestran algunos ejemplos:

```
@ARTICLE{ARTICLE:1,
    AUTHOR="John Doe",
    TITLE="Title",
    JOURNAL="Journal",
    YEAR="2017",
}
```

```

@BOOK{BOOK:1,
    AUTHOR="John Doe",
    TITLE="The Book without Title",
    PUBLISHER="Dummy Publisher",
    YEAR="2100",
}

@INBOOK{BOOK:2,
    AUTHOR="John Doe",
    TITLE="The Book without Title",
    PUBLISHER="Dummy Publisher",
    YEAR="2100",
    PAGES="100-200",
}

@MISC{WEBSITE:1,
    HOWPUBLISHED = "\url{http://example.com}",
    AUTHOR = "Intel",
    TITLE = "Example Website",
    MONTH = "12",
    YEAR = "1988",
    URLEDIT = {2012-11-26}
}

```

Se debe notar que los nombres *ARTICLE:1*, *BOOK:1*, *BOOK:2* y *WEBSITE:1* son nombres de fantasía que le sirve al autor del documento para identificar la entrada. En este sentido, se podrían reemplazar por cualquier otro nombre. Tampoco es necesario poner : seguido de un número, en los ejemplos sólo se incluye como un posible estilo para identificar las entradas.

La entradas se citan en el documento con el comando:

```
\citep{nombre_de_la_entrada}
```

Y cuando se usan, se muestran así: [3], [4], [5], [6]. Notar cómo se conforma la sección Bibliografía al final del documento.

Bibliografía

- [1] wikipedia.com. *La especificacion del lenguaje GCode.* <https://en.wikipedia.org/wiki/G-code#Implementations>. Ene. de 2019. (Visitado 10-11-2020).
- [2] *The NIST RS274NGC Interpreter - Version 3.* 6556. Rev. 3. NIST National Institute of Standards y Technology. 2000.
- [3] John Doe. «Title». En: *Journal* (2017).
- [4] John Doe. *The Book without Title*. Dummy Publisher, 2100.
- [5] John Doe. «The Book without Title». En: Dummy Publisher, 2100, págs. 100-200.
- [6] Intel. *Example Website*. <http://example.com>. Dic. de 1988. (Visitado 26-11-2012).