

CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS EMBEBIDOS

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

Equipo Dip Coater para la creación de películas delgadas

Autor:
Ing. Martin Abel Gambarotta

Director:
Dr. Gastón Corthey (CONICET)

Jurados:
Alejandro Permingeat (FASTA)
Diego Fernández (UBA)
Julián Iglesias (UTN)

*Este trabajo fue realizado en la Ciudad de General San Martín, Buenos Aires,
entre marzo de 2020 y abril de 2022.*

Resumen

La presente memoria describe el desarrollo y la implementación de un equipo dip coater utilizado en la fabricación de películas delgadas en el campo de estudio de las nanociencias. Se abarcarán aspectos de software, hardware y también de diseño y fabricación mecánica.

El equipo que surge de este proyecto será comercializado por TECSCI S.A.S en el transcurso del año 2022. Todo el material relacionado estará disponible ya que la empresa adhiere a los principios del software y hardware libre.

Índice general

Resumen	I
1. Introducción general	1
1.1. El contexto Tecsci	1
1.2. Técnicas de dip coating	2
1.3. Dip coaters en el mercado	3
1.4. Objetivos y alcance	5
1.4.1. Objetivos	5
1.4.2. Alcance	5
2. Introducción específica	7
2.1. Equipo propuesto	7
2.1.1. Elección de las tecnologías	7
2.2. Movimientos controlados	8
2.2.1. Integrados Trinamic	8
2.2.2. Driver TMC5130	8
2.3. Interfaz de usuario	8
2.3.1. Pantalla Stone	8
2.4. Framework de trabajo	8
3. Diseño e Implementación	9
3.1. Hardware	9
3.1.1. Diseño y fabricación	10
3.2. Firmware	10
3.2.1. Capas de abstracción	10
3.2.2. Modulos principales	10
3.3. Estructura mecánica	10
3.3.1. Modelos 3D	10
3.3.2. Fabricación de piezas custom a través de mecanizado CNC	10
4. Ensayos y resultados	11
4.1. Pruebas funcionales de hardware y rediseño	11
4.1.1. Comunicación con periféricos	11
4.1.2. Ensayo de funcionamiento continuo	11
4.2. Pruebas funcionales firmware y rediseño	11
4.2.1. Tiempo de ejecución de programas	11
4.3. Calibración mecánica del equipo	11
4.4. Pruebas de campo con personal capacitado	11
5. Conclusiones	13
5.1. Conclusiones generales	13
5.2. Próximos pasos	13
Bibliografía	15

Índice de figuras

1.1.	Centro Tecnológico FUNINTEC.	2
1.2.	Proceso completo desarrollado por el equipo.	2
1.3.	Films de dioxido de titanio TiO ₂ ¹	3
1.4.	Equipo de la empresa Kibron.	3
1.5.	Equipos de la empresa Biolin Scientific.	4
1.6.	Equipo de la empresa Bungard.	4
2.1.	Módulos principales de firmware.	7
3.1.	Modelo 3D Kicad.	9
3.2.	Placa fabricada MAYER SRL.	10

Índice de tablas

1.1. Dip coaters en el mercado	4
--	---

Dedicado a mis padres!

Capítulo 1

Introducción general

En este capítulo se explica brevemente el marco en el cual se desarrolla el trabajo y se dan las primeras definiciones sobre el equipo a construir.

1.1. El contexto Tecsci

La realización del siguiente proyecto se basa en la construcción de un equipo comercial *Dip Coater*. El proyecto se desarrolla en el marco de la fundación de la empresa *TECSCI (Technology for Science)*.

La empresa tiene como visión ser referente internacional en el desarrollo de equipamiento científico y como misión pretende fabricar productos innovadores de alta calidad. Espera poder dar respuesta a las demandas de laboratorios de investigación, universidades y empresas de base tecnológica nacionales e internacionales.

Como valor agregado destacamos que la empresa adhiere a la filosofía del software y hardware libre [1], por lo tanto el lector podrá acceder a todo el código fuente del firmware[2] y también a los archivos de diseño y fabricación del circuito impreso[3] contando así con todo el material necesario para replicar, reparar o adaptar a sus necesidades el equipo.

Las soluciones que propone se orientan a dar respuesta a las problemáticas que se comparten tanto en el mercado local como en el internacional:

- Elevado precio del equipamiento científico y mantenimiento.
- Contratación exclusiva de servicio técnico asociado al fabricante.
- Soluciones de software y hardware cerradas que no permiten la adaptación del instrumental a experimentos científicos personalizados.

La empresa está incubada en la Fundación Unsam Innovación y Tecnología (FUNDINTEC) y sus instalaciones se encuentran dentro del Campus Miguelete en la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM).

El impacto de esta incubación es positivo, ya que brinda las herramientas necesarias para poder llevar a cabo los trabajos mecánicos necesarios para la fabricación del equipo, en la figura 1.1 podemos ver el taller mecánico donde se pueden fabricar todo tipo de piezas a través del mecanizado CNC, necesarias en una etapa de prototipado y también con la posibilidad de poder escalarlo hacia una etapa de producción.



FIGURA 1.1. Centro Tecnológico FUNINTEC.

Esto fue posible luego del esfuerzo de los trabajadores de la empresa TECSCI que dejaron en condiciones el lugar y recuperaron los equipos de producción luego de años de abandono. También la empresa cuenta con un laboratorio de electrónica con equipos para diseño y prototipado electrónico.

1.2. Técnicas de dip coating

En los laboratorios de investigación aplicados en nanotecnologías existen diferentes equipos para la fabricación de películas delgadas o *thin films* que consisten en capas de material de espesores variables, que comúnmente van desde las centenas de nanómetros hasta las decenas de micrómetros y se depositan sobre diferentes superficies.

Dip Coating es una técnica que se emplea tanto en áreas de I+D en la industria, como en la investigación científica en el campo de las nanociencias, se basa en la inmersión y extracción controlada de una muestra en una solución bajo estudio, en la Figura 1.2 se observa una ejecución completa del movimiento desarrollado por el equipo.

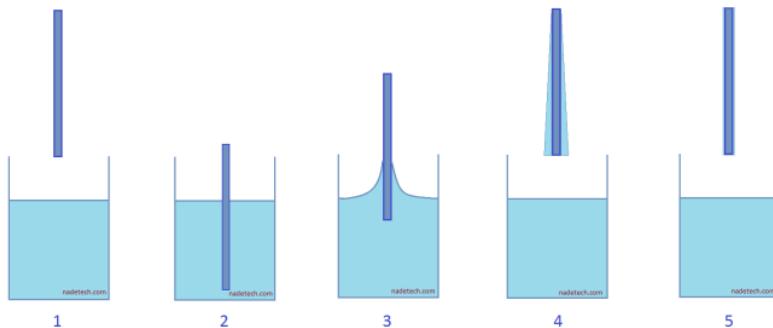
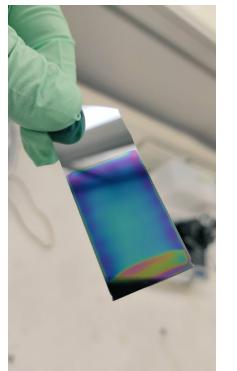


FIGURA 1.2. Proceso completo desarrollado por el equipo.

La principal característica del equipo es darle al usuario la posibilidad de controlar la velocidad y aceleración de inmersión de la muestra, el tiempo de espera que la muestra queda sumergida y la extracción, teniendo la posibilidad de repetir el ciclo según se desee.

Como ejemplo de los resultados que se obtienen aplicando esta técnica podemos observar en la figura 1.3 films de dioxido de titanio TiO_2 , en la primer imagen el film se preparó sobre un wafer de silicio y en la segunda sobre un porta muestra de vidrio.



(A) Film sobre wafer de silicio.



(B) Film sobre portaobjeto.

FIGURA 1.3. Films de dioxido de titanio TiO_2 ¹.

Cabe destacar que los espesores logrados en este experimento fueron entre 180 nm a 200 nm y la velocidad de inmersion y extracción de los sustratos de 180 mm/min.

Luego de un proceso dip coating, dependiendo del tipo de muestra que se genere, es necesario realizar tratamientos térmicos para finalizar el proceso, que se realizan con otro tipo de equipos y por lo tanto no serán parte de esta memoria.

1.3. Dip coaters en el mercado

Existen diferentes fabricantes a nivel internacional que comercializan estos tipo de equipos pero ninguno a nivel local, presentamos a continuación algunos equipos de diferentes fabricantes.

Podemos observar en la figura 1.4 el equipo de la empresa Kibron [4].

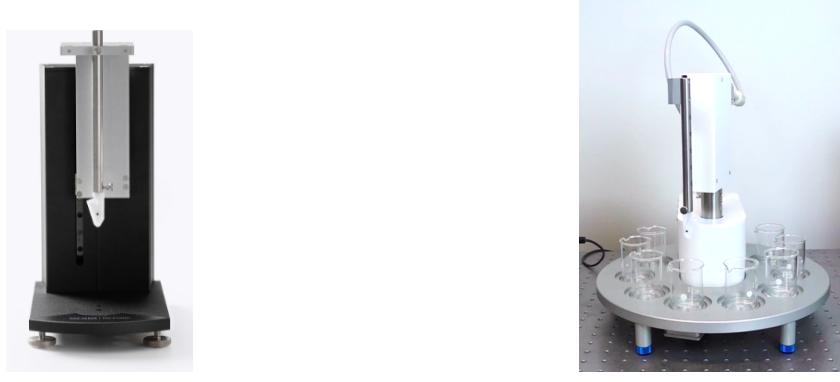


FIGURA 1.4. Equipo de la empresa Kibron.

En la figura 1.5 podemos ver los equipos de la empresa Biolin Scientific [5], un equipo simple y otro con mayor funcionalidad. Si bien ambos controlan con exactitud la velocidad de inmersión y extracción, el último agrega una funcionalidad

¹Imagen tomada en los laboratorios del Instituto de Nanosistemas de la Unsam

la cual a través de una rotación en la base da la posibilidad de cambiar automáticamente las soluciones donde se realizan las inmersiones. Ambos equipos necesitan estar conectados a una pc corriendo un software para poder ser accionados.



(A) Equipo simple.

(B) Equipo avanzado.

FIGURA 1.5. Equipos de la empresa Biolin Scientific.

Por último presentamos el equipo de la empresa Bungard [6], que puede observarse en la figura 1.6. Este equipo a diferencia de los otros cuenta con un display LCD y botonera, que permite al usuario realizar una configuración a pie de máquina.



FIGURA 1.6. Equipo de la empresa Bungard.

A continuación se presenta la tabla 1.1 en donde se comparan las especificaciones técnicas que los caracterizan.

TABLA 1.1. Especificaciones técnicas de otros equipos

Equipo	Recorrido	Velocidad (mm/min)	Acel (m/min ²)	Interface
Bio Single Vessel M	300 mm	1 - 1000	no	pc
Bio Multiplie Vessel	70 mm	0.1 - 108	no	pc
Kibron LayerX	134 mm	0.06 - 300	no	pc
Bungard	600 mm	30 - 10000	no	display/botón
Ossila [7]	100 mm	0.6 - 3000	no	pc
Holmarc [8]	100 mm	1.08 - 540	no	pc

Podemos entonces extraer al menos dos conclusiones, ninguno de los equipos permite al usuario tener control sobre la aceleración en los movimientos de inmersión y extracción de muestra, y la mayoría dependen de una comunicación usb-serial con una computadora para poder ser ejecutados.

1.4. Objetivos y alcance

1.4.1. Objetivos

El objetivo de este trabajo es que la empresa TECSCI diseñe y fabrique su primer equipo comercial, con la perspectiva de ser el primero de una serie más amplia de equipos de laboratorio para la investigación científica.

También es parte de los objetivos fundamentales que el equipo desarrollado incorpore mejoras respecto a sus competidores, se planteará en los siguientes capítulos un estudio sobre el control de movimientos elegido y se presentará un sistema de configuración de equipo moderno.

1.4.2. Alcance

El presente proyecto incluye la presentación de un equipo comercial Dip Coater.

Abarca los siguientes puntos:

- Desarrollo del Firmware que contemple la comunicación con driver del fabricante TRINAMIC, específicamente el TMC5130.
- Diseño del Hardware con software de diseño KICAD.
- Fabricación del PCB y montaje de componentes electrónicos.
- Diseño y Fabricación de la parte mecánica soporte del equipo y fabricación de piezas especiales a través de mecanizado CNC.
- Incorporación de pantalla touch HMI *human machine interface* de la marca STONE para configuración y uso del equipo.

El presente proyecto no incluye:

- Desarrollo de hardware con fuente de alimentación incorporada.
- Programación de la interfaz gráfica con el software de diseño provisto por el fabricante de la pantalla.
- Control del entorno con registro de humedad, temperatura y cámara de humedad.

Capítulo 2

Introducción específica

2.1. Equipo propuesto

2.1.1. Elección de las tecnologías

Como se observa en la Figura 2.1, la máquina Dip Coater que se desarrollará estará compuesta por:

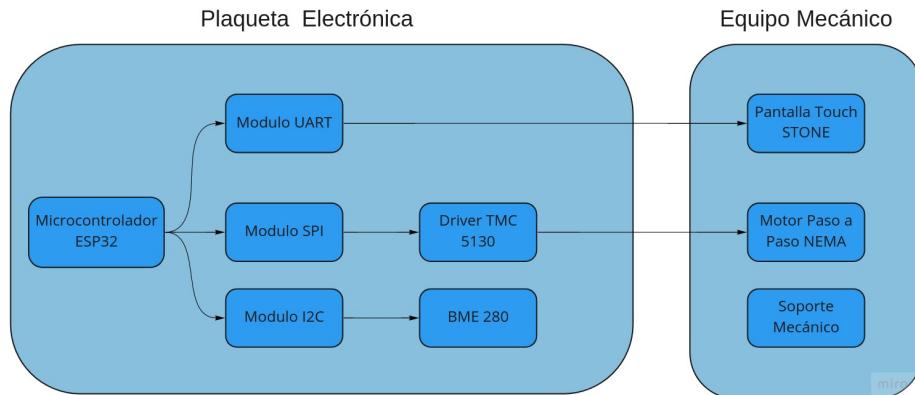


FIGURA 2.1. Módulos principales de firmware.

- Microcontrolador ESP32
- Periféricos UART SPI I2C
- Driver para manejo de motor TRINAMIC TMC 5130
- Comunicación con Stone Display HMI

2.2. Movimientos controlados**2.2.1. Integrados Trinamic****2.2.2. Driver TMC5130****2.3. Interfaz de usuario****2.3.1. Pantalla Stone****2.4. Framework de trabajo**

Capítulo 3

Diseño e Implementación

3.1. Hardware

Como se detalló en el capítulo 2 las primeras pruebas fueron realizadas con la placa experimental TMC5130-EVAL, en la web de la empresa [9] se pueden encontrar los diseños de todas las placas de evaluación que la misma comercializa. También se analizaron varios esquemáticos de los módulos de desarrollo **NODE-MCU** del microcontrolador ESP32, este último al ser un producto de venta masiva cuenta con gran cantidad de información y ejemplos de implementaciones. Por lo tanto el diseño de nuestra placa surge del análisis de las implementaciones anteriores. Para el diseño del *hardware* utilizamos el software libre de diseño de circuitos impresos **KICAD**, cabe destacar que este software a avanzado y mejorado en cuanto a sus capacidades técnicas en los últimos años, es posible que el apoyo del **CERN** haya influenciado de manera positiva tal como se comenta en la siguiente nota [10].

3.1 3.2

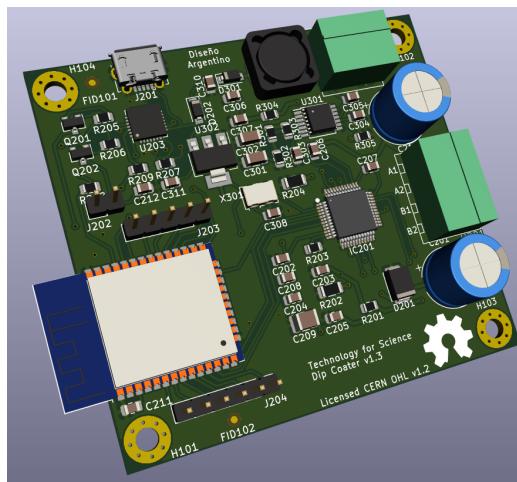


FIGURA 3.1. Modelo 3D Kicad.



FIGURA 3.2. Placa fabricada MAYER SRL.

3.1.1. Diseño y fabricación

3.2. Firmware

3.2.1. Capas de abstracción

3.2.2. Modulos principales

3.3. Estructura mecánica

3.3.1. Modelos 3D

3.3.2. Fabricación de piezas custom a través de mecanizado CNC

Capítulo 4

Ensayos y resultados

4.1. Pruebas funcionales de hardware y rediseño

La idea de esta sección es explicar cómo se hicieron los ensayos, qué resultados se obtuvieron y analizarlos.

4.1.1. Comunicación con periféricos

4.1.2. Ensayo de funcionamiento continuo

4.2. Pruebas funcionales firmware y rediseño

4.2.1. Tiempo de ejecución de programas

4.3. Calibración mecánica del equipo

4.4. Pruebas de campo con personal capacitado

Capítulo 5

Conclusiones

5.1. Conclusiones generales

La idea de esta sección es resaltar cuáles son los principales aportes del trabajo realizado y cómo se podría continuar. Debe ser especialmente breve y concisa. Es buena idea usar un listado para enumerar los logros obtenidos.

Algunas preguntas que pueden servir para completar este capítulo:

- ¿Cuál es el grado de cumplimiento de los requerimientos?
- ¿Cuán fielmente se pudo seguir la planificación original (cronograma incluido)?
- ¿Se manifestó algunos de los riesgos identificados en la planificación? ¿Fue efectivo el plan de mitigación? ¿Se debió aplicar alguna otra acción no contemplada previamente?
- Si se debieron hacer modificaciones a lo planificado ¿Cuáles fueron las causas y los efectos?
- ¿Qué técnicas resultaron útiles para el desarrollo del proyecto y cuáles no tanto?

5.2. Próximos pasos

Acá se indica cómo se podría continuar el trabajo más adelante.

Bibliografía

- [1] OSH. *Open Source Hardware Association*. Visitado el 15-03-2022. URL: <https://www.oshwa.org/definition/spanish/>.
- [2] Martin Abel Gambarotta. *Firmware*. Visitado el 15-03-2022. URL: <https://gitlab.com/tecscli/dipcoater>.
- [3] Martin Abel Gambarotta. *Hardware*. Visitado el 15-03-2022. URL: https://github.com/martinch14/tecscli_dipcoater_hardware_kicad.
- [4] Kibron. *Dip coater*. Visitado el 04-01-2022. URL: <https://www.kibron.com/layerx-134>.
- [5] Biolin Scientific. *Dip coater*. Visitado el 04-01-2022. URL: <https://www.biolinscientific.com/ksvnima/fabrication-and-deposition-of-thin-films/dip-coaters>.
- [6] Bungard. *Dip coater machine*. Visitado el 15-03-2022. URL: <https://www.bungard.de/en/machines/dip-coaters/rdc-15>.
- [7] Ossila. *Dip coater machine*. Visitado el 08-03-2022. URL: <https://www.ossila.com/products/dip-coater>.
- [8] Holmarc. *Dip coater machine*. Visitado el 10-03-2022. URL: https://www.holmarc.com/dip_coating_unit.php.
- [9] Trinamic. *Motion Control*. URL: <https://www.trinamic.com/>.
- [10] Antonella Del Rosso. *KiCad software gets the CERN treatment*. 2015. URL: <https://home.cern/news/news/computing/kicad-software-gets-cern-treatment>.