



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería.
Especialidad en electromecánica.

“Desarrollo de sistema automático de aspersion para electrónica flexible
mediante el control dinámico de manufactura aditiva”

Opción de titulación
Tesis individual

Que como parte de los requisitos para obtener el el título de ingeniero
electromecánico de la facultad de ingeniería en San Juan del Río, Querétaro.

Presenta:

Diep Lujan Pablo Jesús

Dirigido por:

Dr. Ángel Pérez Cruz

Dr. Ángel Pérez Cruz
Director

Firma

Dr. Roque Alfredo Osornio Ríos
Sinodal

Firma

Dr. Juan Primo Benítez Rangel
Sinodal

Firma

Dr. Luis Morales Velázquez
Sinodal

Firma

San Juan del Río
Querétaro, Qro.
Noviembre 2019

RESUMEN

Esta tesis muestra el trabajo que se realizó para fabricar electrodos flexibles a base de manufactura aditiva, el objetivo fue diseñar y desarrollar un sistema que permitiera controlar el posicionamiento del aerógrafo y la aspersión que este genera, a fin de poder caracterizar mediciones de resistencia dependiendo del modo de fabricación, y poder comparar diferentes métodos para ver cuál es mejor. Al variar algunos parámetros como la posición (en este caso las alturas) y la frecuencia de aspersión, se obtuvieron resultados interesantes. El desarrollo del sistema de posicionamiento se logró mediante tres ejes los cuales permiten hacer varias rutinas para conocer la influencia de la dinámica en las pruebas variando valores como la altura, la velocidad e incluso hacer movimientos no lineales, además mediante una Arduino se modificó la frecuencia con la que las válvulas del aerógrafo trabajan así se vio si dicha frecuencia también tenía cierta influencia en la fabricación de los electrodos. Al variar estos parámetros y hacer varias pruebas se notó que había algunas variables que si afectaban mucho al sistema como lo es la velocidad de desplazamiento, la altura e incluso la frecuencia del aerógrafo. Se pudo notar que si se varia la altura esta nos genera un aumento en el valor resistencia de los electrodos, al variar la velocidad si esta era muy rápida no se lograba buena conductividad y si era lenta se desperdiciaba mucha tinta y al variar la frecuencia si esta era alta el aerógrafo se volvía inestable debido a las vibraciones del sistema y al bajar la frecuencia esta ya no operaba puesto que la presión que necesita el aerógrafo no se obtenía. Al realizar mediciones se obtuvo que al flexionar el electrodo este aumentaba su valor de resistencia un 60% aproximadamente con un radio de curvatura específico sin sufrir algún daño aparente. Otro factor importante fue la elaboración de la mezcla (la tinta conductiva) debido a que el aerógrafo tendía a taparse haciendo el proceso complicado, pero al realizar pruebas con distintas mezclas se obtuvo una que lograba romper la tensión superficial de la tinta conductiva sin quitarle su

propiedad dieléctricas para poder ser dispersada y realizar las pruebas. En conclusión, se cumplieron con los objetivos planteados y se fabricaron algunos electrodos flexibles con los cuales se puede caracterizar algunos valores de resistencia para poder crear electrodos con características o aplicaciones especiales, además de poder generar más formas ya que el sistema tiene mucha movilidad y al conocer algunos parámetros específicos para el sistema como la frecuencia ideal de trabajo del aerógrafo, velocidad de desplazamiento e incluso las alturas ideales este proceso se vuelve más fácil y rápido de aplicar. Un punto importante a resaltar es que este sistema a comparación con los que ya existen en el mercado es más barato y tiene mucha mayor libertad para poder crear otras cosas que un sistema comercial no permiten.

(Palabras claves: Electrodo, Flexibles, Aspersión)

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer principalmente a mis padres que nunca quitaron el dedo del renglón para que yo este hoy en día donde estoy, de igual modo a mis hermanas y a mis cuñados que siempre conté con su apoyo para lo que yo necesitara, a la familia que siempre me brindo su apoyo. Quiero agradecer a mi asesor el Dr. Ángel Pérez Cruz que me ha dado su apoyo incondicional no solo para este trabajo sino para lo que yo eh necesitado y esto me ha permitido lograr algunas metas personales, al Dr. Roque Alfredo Osornio Ríos que me tuvo la confianza y me han brindado su apoyo en todo lo que yo he necesitado. A mis maestros dentro y fuera de la universidad, que a lo largo de la carrera me compartieron un poco de su conocimiento y su apoyo para que yo tuviera más herramientas con las cuales poder salir adelante. Agradecer a la universidad por darme la oportunidad de formar parte de esta gran institución en la cual ya llevo varis años siendo parte de esta mi otra familia. A mis amigos dentro y fuera de la institución ya que ellos han sido un gran apoyo. Agradecer a una persona que se ha vuelto muy importante en mi vida, mi pareja que es una gran persona que me ha llenado de luz al estar conmigo, alentándome y apoyándome incondicionalmente para lograr mis metas. Este logro no es solo mío sino de todas las personas que me han acompañado durante este largo proceso y que me han visto reír, divertirme, estresarme, ponerme feliz e incluso enojado y aun así han estado a mi lado apoyándome y tratando de entenderme en los momentos difíciles, pero siempre mostrándome una sonrisa de ¡tú puedes!

Gracias a todos por su apoyo.

Índice

1	Introducción.....	7
1.1	Antecedentes	8
1.2	Justificación.....	10
1.3	Descripción del problema	11
1.4	Equipos comerciales	11
1.5	Objetivo general	13
1.6	Objetivos particulares.....	13
1.7	Organización de la tesis	14
2	Marco Teórico.....	14
2.1	Aplicaciones de la electrónica flexible.....	14
2.1.1	Propiedades de las tintas conductivas.....	15
2.2	Viscosidad	16
2.2.1	Flexion	17
2.3	Procesos de manufactura aditiva.....	18
2.4	Aspersión	19
2.5	Códigos G.....	20
2.6	Electrodos flexibles	21
3	Desarrollo del sistema.....	22
3.1	Metodología	22
3.2	Sistema de posicionamiento y aspersion	23
3.3	Implementación del proceso de manufactura	28
3.3.1	Dinámica del posicionamiento.....	28
3.3.2	Dinámica de la aspersion.....	30
3.3.3	Caracterización de electrodos.....	31

3.3.4	Pruebas realizadas.....	32
3.3.5	Tinta utilizada.....	33
3.3.6	Costos	34
4	Resultados	35
4.1	Electrodos manufacturados	35
4.2	Efecto de la dinámica en el proceso de aspersion	36
4.2.1	Efecto debido a la altura	36
4.2.2	Electrodos fabricados de forma manual.....	37
4.2.3	Efecto de la frecuencia en las pruebas	38
4.3	Desempeño de los electrodos en flexión	39
5	Conclusiones.....	42
5.1	Prospectivas.	43
5.1.1	Aplicaciones.....	43
6	Referencias bibliográficas.....	44
7	Apéndice A.....	46
8	Apéndice B.....	49
9	Apéndice C.....	50

1 Introducción

En este capítulo se presenta una introducción sobre el proyecto realizado, así como también se muestran algunos de los principales desarrollos relacionados con la electrónica flexible.

Flexible se define como: “la capacidad de adaptarse a condiciones cambiantes” (Lladó, 2013), mientras que la flexibilidad puede ser interpretada de diferente manera según los fabricantes y usuarios. En el contexto de los dispositivos electrónicos, flexible puede significar muchas cualidades: elástico, liviano, no rompible, enrollable entre otros. Como una característica mecánica, flexibilidad se clasifica convenientemente en tres categorías: (1) doblables o enrollables, (2) deformado plásticamente, y (3) elásticamente.

Las herramientas convencionales utilizadas en la fabricación de dispositivos electrónicos han sido desarrolladas para aplicaciones planas. Hoy día, con los avances tecnológicos cada vez más grandes y rápidos se busca la forma de hacer las cosas más pequeñas y eficientes; para ello se han desarrollado tecnologías que permiten hacer o tener circuitos electrónicos flexibles y con algunos parámetros deseados como una buena conductividad o resistividad eléctrica. En la actualidad se desarrollan técnicas en cuanto a los materiales que se usan, así como los procesos de fabricación de dispositivos de electrónica flexible (Figura 1.1).

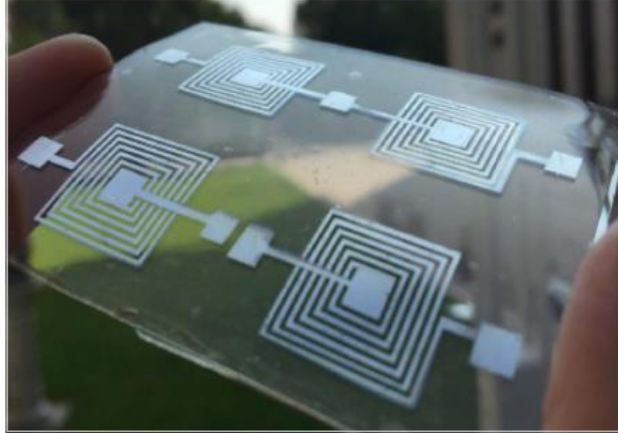


Figura 1.1 Electrodo Flexible para la realización de un inductor (Tang et al., 2015)

1.1 Antecedentes

En esta sección se presenta un resumen de la evolución de la electrónica flexible presentada por Wong y Salleo (2009) sobre sobre como inició el desarrollo de la electrónica flexible y como fue avanzando con el paso del tiempo. El desarrollo de la electrónica flexible se remonta a la década de 1960, donde los primeros dispositivos flexibles fueron las matrices de celdas solares que se hicieron al adelgazar las celdas de silicio mono cristalino a un espesor de aproximadamente cien micras ($\sim 100\mu\text{m}$), y luego ensamblarlos sobre un sustrato de plástico para proporcionar flexibilidad. En 1973 se incentivó la fabricación de celdas solares de película delgada como un camino para reducir el costo de electricidad fotovoltaica. Debido a su temperatura de deposición relativamente baja, las celdas de silicio amorfo hidrogenado (a-Si: H) se prestan a la fabricación en metales o polímeros flexibles. En 1976, los laboratorios RCA (*Radio Corporation of America*, corporación de radio de América) informaron sobre una celda solar de barrera hecha en acero inoxidable. A principios de la década de 1980, las celdas solares *Schottky barrier* se fabricaron con polímero orgánico de película delgada ("plástico"). Al mismo tiempo, el CdS (sulfuro de cadmio) que se desarrolló para las células solares CdS / Cu₂S (sulfuro de cobre) sobre vidrio se realizó por deposición

continúa sobre un sustrato flexible en movimiento en una recubierto de vacío carrete a carrete. A principios de la década de 1980, la fabricación de rollo a rollo de celdas solares a-Si:H (silicio amorfo hidrogenado) en acero flexible y sustratos de polímeros orgánicos se fue introducido. En la actualidad, las células solares a-Si:H se fabrican rutinariamente mediante procesos de rollo a rollo.

El primer TFT (*thin-film transistor*, transistor de película delgada) flexible data de 1968, éste fue desarrollado haciendo una capa delgada de telurio en una tira de papel. En los años siguientes, estos transistores se desarrollaron en una amplia gama de sustratos flexibles, polietileno y láminas delgadas de aluminio. A mediados de la década de 1980, la industria de la pantalla de cristal líquido de matriz activa (AMLCD, *the active-matrix liquid-crystal display*, pantalla de cristal líquido con matriz activada) comenzó en Japón adoptando la deposición-química mejorada de vapor de plasma (PECVD, *plasma enhanced chemical vapor deposition* deposición química de vapor mejorada de plasma) que se ha utilizado para la fabricación de celdas solares a-Si: H. El éxito de la industria AMLCD estimuló la investigación en circuitos de película delgada. En 1994, en *Iowa State University* se desarrollaron circuitos TFT en sustratos flexibles de poliamida. (Una poliamida es un tipo de polímero que contiene enlaces de tipo amida). Desde entonces, la investigación sobre la electrónica flexible se ha expandido rápidamente, y muchos grupos de investigación y compañías han desarrollado elementos de electrónica flexible.

Una pantalla ultrafina que se puede conectar a la piel es un componente crítico para un puerto de salida de información en la electrónica portátil de próxima generación. En este sentido, los diodos emisores de luz (QLED, *Quantum dot light emitting diode*, Diodo emisor de luz de punto cuántico) de punto cuántico (QLED) ofrecen características únicas y atractivas para pantallas futuras, incluida una alta pureza de color con anchos de banda estrechos, un alto brillo de electroluminiscencia a bajos voltajes operativos y una fácil procesabilidad. (Figura 1.2).



Figura 1.2. Fotografía de la pantalla QLED ultra delgada (que muestra “QLED 16 × 16”) en la piel deformada (Kim et al., 2017)

1.2 Justificación

En la actualidad, hay disponibles en el mercado, sistemas de manufactura aditiva para fabricar dispositivos de electrónica flexible, incluyendo aplicaciones de radio frecuencia; sin embargo, aún existe un área de oportunidad para mejorar y/o desarrollar técnicas de manufactura aditiva para la fabricación de estos dispositivos. Algunas de las áreas para mejorar son el costo económico que tienen los equipos comerciales, así como la poca flexibilidad de sus sistemas, dado que son cerrados, se busca lograr un sistema más económico y con mayor manipulación de software, para no limitar el sistema.

1.3 Descripción del problema

Para poder fabricar electrodos de forma más eficiente, es decir, sin la necesidad de una persona que lo haga manualmente, es necesario automatizar el proceso de deposición de las tintas conductivas. Sin embargo, un aspecto a considerar en la automatización de la deposición de estas tintas es su costo, las tintas comerciales tienen un rango de precio entre \$25 y \$500 pesos por mililitro de tinta. Esto significa que el proceso de automatización requiere minimizar la cantidad de tinta desperdiciada para imprimir electrodos. Otro aspecto importante es la rigidez del electrodo, ya que este deberá ser funcional a diversos ángulos de flexión.

Los dispositivos comerciales son de arquitectura cerrada lo cual dificulta la implantación de nuevas metodologías de manufactura. Para estos sistemas es difícil la reconfiguración de sus elementos lo cual obstaculiza la incorporación de nuevos elementos al sistema para adaptarse a la aplicación deseada, aunado a esto, este tipo de sistemas son costosos (más de 5 millones de pesos).

1.4 Equipos comerciales

Es importante mencionar algunos de los principales equipos comerciales que existen, dado que estos permiten tener una idea más amplia del tema y ayuda a comprender de mejor manera lo que se busca desarrollar en este proyecto.

La impresora Aerosol Jet® 200 Series (Figura 1.3) es ideal para universidades, desarrolladores de tinta y otros que exploran los beneficios; ya que el sistema ofrece una solución de impresión de mesa compacta de calidad profesional específicamente desarrollada para la impresión de electrónica. Esta impresora puede fabricar estructuras electrónicas y físicas con tamaños de 10 micras a milímetros. El sistema Aerosol Jet es compatible con una amplia

variedad de materiales, incluidas las tintas conductoras de nanopartículas, polímeros, aislantes, adhesivos, grabadores e incluso materia biológica que el sistema puede depositar con precisión sobre sustratos planos y no planos.



Figura 1.3. Sistema de la serie Aerosol Jet 200

La impresora Dimatrix DMP-2831 (Figura 1.4), es uno de los equipos más completos que hay en el mercado ya que cuenta con etapas XYZ, sistema de deposición de inyección de tinta, sistema de absorción de chorro de agua, cámaras para la alineación y medición del sustrato, además es capaz de inyectar una amplia gama de fluidos (fluidos a base de agua, solventes, ácidos o básicos) puesto que cuenta con 16 boquillas, contiene una placa de vacío, estación de limpieza de cartucho e incluye la PC (Personal Computer, Computadora personal), monitor y software. Cuenta con un área imprimible de alrededor de <0.5 mm de espesor: 210 mm x 315 mm (8.27 in x 12.4 in), con una repetitividad de $\pm 25 \mu\text{m}$ (± 0.001 in).



Figura 1.4. Impresora de materiales Dimatix DMP-2831

1.5 Objetivo general

Desarrollar un sistema automatizado de fabricación de electrodos flexibles mediante el proceso manufactura aditiva por aspersion que permita controlar la dinámica del proceso de aspersion.

1.6 Objetivos particulares

Automatizar un sistema de posicionamiento de tres ejes usando servomotores, para la deposición por aspersion de la tinta conductiva; así como automatizar el sistema de aspersion de la tinta controlando la frecuencia a la que trabajará el aerógrafo.

Proponer rutinas de aspersion mediante el control del posicionamiento y la aspersion, para estudiar el efecto de la dinámica de posicionamiento y aspersion en electrodos depositados en materiales flexibles en la cantidad de material desperdiciado.

Fabricar prototipos para realizar pruebas de comparativas funcionamiento usando tres técnicas: (i) automatizada sin control de la dinámica, (ii) automatizada con control de la dinámica y (iii) manual.

Analizar los resultados para proponer nuevas técnicas de fabricación de dispositivos de electrónica flexible mediante el control de la dinámica de la manufactura aditiva.

1.7 Organización de la tesis

Esta tesis está organizada en 5 capítulos. El primer capítulo presenta los antecedentes tanto históricos como de algunos equipos existentes, así como la descripción del problema principal y los objetivos a tratar. En el capítulo dos se muestran algunas aplicaciones, así como información teórica de algunos temas relacionados con el trabajo realizado. El capítulo 3 explica los componentes que se usaron para este trabajo, así como la metodología para la realización de este. En el capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos. Y por último en el capítulo 5 se muestran las conclusiones, así como algunas ideas a futuro.

2 Marco Teórico

A continuación, se presentan las aplicaciones más relevantes de los últimos tiempos, algunas de las propiedades a tomar en cuenta durante el proyecto y los conocimientos básicos para el funcionamiento del sistema.

2.1 Aplicaciones de la electrónica flexible

Algunos autores han aplicado tintas basadas en nano-partículas para la fabricación de electrodos flexibles; sin embargo, estas tintas requieren de

procesos adicionales (sinterizado o recocido) para eliminar el solvente y lograr conducción en los electrodos impresos. En este sentido las tintas conductoras poseen dos propiedades inherentes que pueden ser potencializadas para fabricar electrodos conductores en electrónica flexible: (i) poseen conductividad y (ii) y pueden alcanzar deformaciones relativamente largas antes de perder conductividad.

Petukhov et al. (2014) presentaron patrones conductivos de níquel y cobre por reacción, la inyección de tinta evita el método de electrodeposición común en este tipo de tintas. Bjorninen et al. (2015) fabricaron antenas pasivas RFID (Radio Frequency Identification, identificación por radiofrecuencia) para etiquetas a través de la impresión directa de tintas de cobre y plata en textiles. Matsuhisa et al. (2015) presentaron una matriz orgánica de transistores flexibles y un sensor de electromiograma portátil impresos con tinta conductiva basada en plata. Shin et al. (2016) propusieron una tinta bioactiva basada en nanotubos de carbono para imprimir dispositivos de electrónica flexible. Falco et al. (2017) desarrollaron un identificador de radio frecuencia flexible que cuenta con sensores de luz y temperatura integrados, por otra parte, Guo et al. (2017) fabricaron electrodos metálicos en piel humana, este trabajo plantea la posibilidad de tener un mejor monitoreo de pruebas mecánicas realizadas a tejido humano.

Las tintas funcionales previamente mencionadas se basan principalmente en sustancias orgánicas, polímeros, nano partículas, etc. Estas tintas se pueden preparar cargando nano partículas en fluidos base tales como materiales orgánicos. Sin embargo, existe un gran problema con tales tintas compuestas, porque requieren en gran medida de una temperatura alta de recocido y otros procesos más complejos como la evaporación de solventes.

2.1.1 Propiedades de las tintas conductoras

Teóricamente la definición de resistencia eléctrica R se puede describir con la siguiente fórmula de la ecuación 1:

$$R = \frac{kL}{S} \quad \text{Ec.1}$$

Donde R es la resistencia, L es la longitud del metal líquido, S es el área de sección transversal del metal líquido, k es la resistividad.

La longitud, el ancho y la altura cambian de acuerdo con la variación del sustrato elástico. Cuando aumenta la fuerza de tracción, el cuerpo de la piel elástica se adaptará al conductor de metal líquido (Ec.2).

La relación de volumen V y longitud L es S :

$$S = \frac{V}{L} \quad \text{Ec.2}$$

Donde el volumen V del conductor es invariable y la resistividad R es constante (Ec.3).

$$\frac{R}{R_0} = \frac{kL/s}{k_0L_0/S_0} = \frac{kV_0}{k_0V} (L/L_0)^2 \quad \text{Ec.3}$$

2.2 Viscosidad

Cuando un cuerpo se mueve a través de un fluido (como un gas o un líquido) experimenta una fuerza de fricción que aumenta con la velocidad. Las fuerzas de fricción en fluidos se conocen como fuerzas viscosas F y son fuerzas estadísticas macroscópicas, ya que en ellas participa un gran número de moléculas. Por lo tanto, las fuerzas viscosas se deben determinar de manera experimental. A una velocidad relativamente baja “ v ” la fuerza de fricción es aproximadamente proporcional a la velocidad del cuerpo y opuesta a ella (Ec.4). Así pues, se escribe como en la ecuación 4:

$$F = -K\eta v \quad \text{Ec.4}$$

Donde “ η ” es el coeficiente de viscosidad del fluido o también llamado coeficiente de rozamiento del fluido y depende de las propiedades moleculares del fluido, por otro lado, K es el coeficiente de arrastre y este coeficiente se debe obtener experimentalmente, aunque en algunos casos también se puede calcular. En el caso particular de que el cuerpo sea una esfera lisa (Ec.5) de radio “ r ” que se mueve lentamente a través de un fluido, un largo desarrollo matemático lleva a que el valor de K es:

$$K = 6\pi r \quad \text{Ec.5}$$

Para mostrar la relación que existe entre la tensión superficial y la viscosidad para diferentes técnicas de fabricación (Figura 2.1).

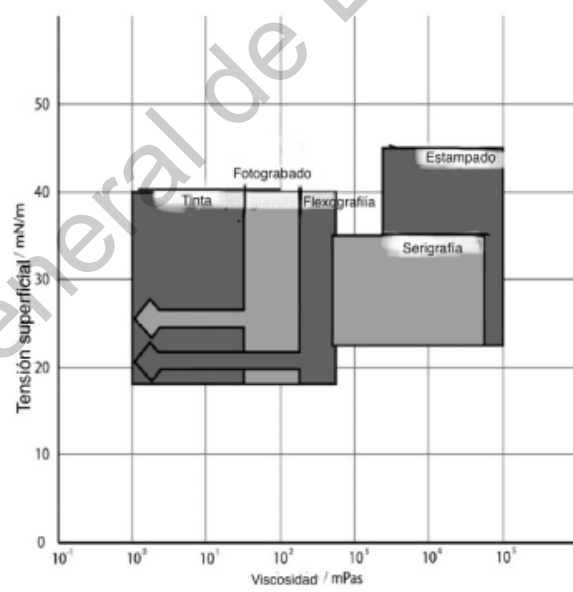


Figura 2.1. Tensión superficial (*Surface tension*) vs viscosidad (*viscosity*) adaptada de la original (Giovanni Nisato et al., 2016)

2.2.1 Flexion

Se denomina momento flector o momento de flexión, a un momento de fuerza resultante de una distribución de tensiones sobre una sección

transversal de una placa que es perpendicular al eje longitudinal a lo largo del que se produce la flexión (Figura 2.2).

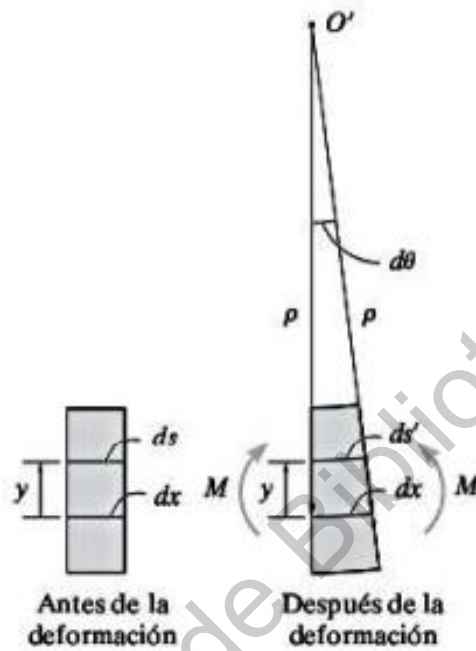


Figura 2.2. Radio de curvatura (O') generado por la flexión y el momento generado (Hibbeler et al., 2006.)

2.3 Procesos de manufactura aditiva

Las técnicas de manufactura aditiva aplicadas a la fabricación de dispositivos de electrónica flexible se pueden clasificar en dos grupos: (i) de contacto y (ii) sin contacto. Entre las técnicas de contacto más utilizadas esta la serigrafía (Zhou *et al.*, 2018), y el uso de plumas de punta de bola (Pérez-Cruz et al., 2017). Las técnicas sin contacto han cobrado mucho interés entre la comunidad científica debido a que son más fácil de automatizar y brindan una mayor reproducibilidad. Dos de estas técnicas son las más populares: la inyección de tinta (Falco *et al.*, 2017) y la aspersion (Cao et al., 2017). Esta

última técnica ha cobrado gran importancia debido a que brinda una gama amplia en la viscosidad de los materiales que se pueden depositar, comparada con la inyección de tinta. Por ejemplo, es posible imprimir electrodos usando impresoras de inyección de tinta; sin embargo, dichos electrodos requieren un paso extra (generalmente sinterizado) para ser conductivos (Wan and Liu et al., 2016). Una alternativa para resolver este conflicto es el uso de manufactura aditiva por aspersion (simple o ultrasónica).

2.4 Aspersion

En la aspersion, la tinta es colocada en un atomizador, el cual crea una nube de partículas que es enviada a la boquilla de aspersion utilizando un gas auxiliar para ser depositadas en el sustrato (Zhang et al., 2014). Este gas auxiliar también sirve para prevenir acumulamiento del material en la boquilla y así evitar su obstrucción. El sistema es generalmente manejado por un controlador de posición (Agarwala et al., 2017).

La aerografía es una técnica de aplicación por aspersion o difuminación aérea de pintura sobre una superficie u objeto y es similar a la aplicación por spray en la confección del grafiti, pero en este caso, utiliza una herramienta denominada aerógrafo para su aplicación. Hay dos tipos de aerógrafos:

El de acción simple, en el cual la pintura y el aire salen a la vez, con una relación constante. El gatillo tiene la única función de permitir la salida del aire, con mezcla interna o externa.

El de doble acción, el gatillo tiene dos movimientos independientes. Presionando hacia abajo se logra que salga sólo aire, presionando hacia abajo y hacia atrás se logra la mezcla de aire y pintura. A medida que se presiona el gatillo se empieza a suministrar más pintura al flujo de aire y más grueso será el pulverizado de pintura.

2.5 Códigos G

El G-Code (o código G, en castellano) es el nombre de un lenguaje de descripción de operaciones para máquinas de control numérico por ordenador (CNC) que puede ser manejado también como lenguaje de programación para controlar estos dispositivos y para facilitar las operaciones utilizándolas.

Una vez que se estandarizó en los 80 como ISO 6983, el G-Code se convirtió en el lenguaje más utilizado en la fabricación por ordenador. Aunque existen ampliaciones e implementaciones dependiendo de los fabricantes, así como estándares alternativos al internacional en algunos países, es posible que cualquier máquina de control numérico moderna sepa interpretar el G-Code básico.

El G-Code se crea en formato texto, es decir, puede leerse (y modificarse como un texto) con un editor, aunque lo más habitual es que se genere y se visualice desde una simulación o modelado y/o fabricación 2D, 3D o alguna aplicación en específico.

Los Códigos G y M más utilizados son:

- G21; trabajar con milímetros
- G90; usar posicionamiento absoluto
- M82; colocar el extrusor en posicionamiento absoluto
- M107; apagar ventilador
- G28 X0 Y0; mover el extrusor a la posición 0,0 del plano.
- G28 Z0; bajar el extrusor hasta la posición 0 en altura
- G92 E0; iniciar la extrusión a 0
- G1 F200 E3; extruir 3 mm de filamento
- G92 E0; resetear la extrusión a 0

- G1 F9000; establecer velocidad a 9000 milímetros/minuto
- M117 Imprusand; escribir mensaje en el LCD
- M106 S127; encender ventilador a la mitad de potencia (127)
- M104 S0; apagar extrusor
- M140 S0; apagar la cama caliente
- G1 E-1 F300; retraer filamento (para liberar presión)
- M84; apagar motores

Además de los códigos que empiezan por la letra G, los más básicos, puedes utilizarse otros códigos que empiezan con la letra M, ya que estos se encargan de todas las tareas que no tengan que ver con el movimiento de los ejes, por ejemplo; en impresoras 3D existe el M117 con él se puede escribir en el LCD y M106 enciende el ventilador de capa y M107 lo apaga.

2.6 Electrodo flexibles

Los electrodos flexibles son aquellos que se adaptan a las superficies del sustrato. De acuerdo a su forma, los electrodos pueden ser clasificados como:

1. Electrodos de superficie. Los electrodos de superficie son aquellos que se colocan para estar en contacto con la superficie del sustrato. Presentan diámetros que varían desde 0.3 hasta 0.5 cm y en algunos casos hasta 1 cm.
2. Placas metálicas. Este electrodo consiste de un botón metálico de contacto (generalmente hecho de plata y/o cloruro de plata) en la parte alta del sustrato, el cual se rellana con un gel o pasta conductiva.
3. Electrodos de succión. Este tipo de electrodos no requiere cintas ni adhesivos para conservarse en su lugar.

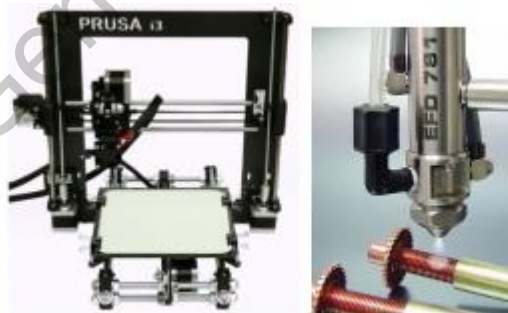
3 Desarrollo del sistema

Este capítulo expresa la metodología realizada como los elementos que se utilizaron, y algunos valores que se establecieron para el mejor funcionamiento del sistema.

3.1 Metodología

Para la realización de este proyecto se planteó dividir éste en dos etapas: automatización de posición y aspersion, implementación del proceso de manufactura y pruebas funcionales de los dispositivos fabricados.

Se automatizó tanto el posicionamiento como la activación del elemento de aspersion. Para la automatización del sistema de posicionamiento se utilizó una mesa de coordenadas (similar a la mostrada en la Figura 3.1a) con control de código abierto en la cual se puedan programar rutinas de aspersion mediante código G. La activación del dispositivo de aspersion (aerógrafo similar al mostrado Figura 3.1b) fue realizada mediante un relevador controlado por arduino.



a)

b)

Figura 3.1. a) Sistema de posicionamiento y b) aerógrafo

3.2 Sistema de posicionamiento y aspersión

El sistema de posicionamiento consiste en 4 servomotores los cuales controlan los ejes X, Y y Z, dos para el movimiento en Z, uno en Y y uno en X. El aerógrafo es colocado sobre el eje X, ya que está a su vez este ensamblado con el eje Z, y así el aerógrafo queda en forma vertical, el eje Y es más independiente ya que es la plataforma donde se coloca el material (el papel) que recibe la tinta conductiva. (Figura 3.2).



Figura 3.2. Sistema de posicionamiento con los 3 ejes

Para el control del posicionamiento, se contó con una tarjeta que permita a través de códigos G (Apéndice A), manipular los distintos ejes, además de la velocidad de movimiento (Figura 3.3), esta tarjeta cuenta con 5 entradas para motores ya que se puede utilizar generalmente para impresoras 3D las cuales utilizan un motor más para el filamento, para estas tesis solo se utilizaron los motores X,Y y los dos de Z, además cuenta con un display que permite ver algunos datos y ajustar la posición inicial, también trae algunos pines para otras

funciones como calentar la base, o instalar algunos ventiladores, cuenta con entradas para algunos limit-switch para los ejes (X,Y,Z).

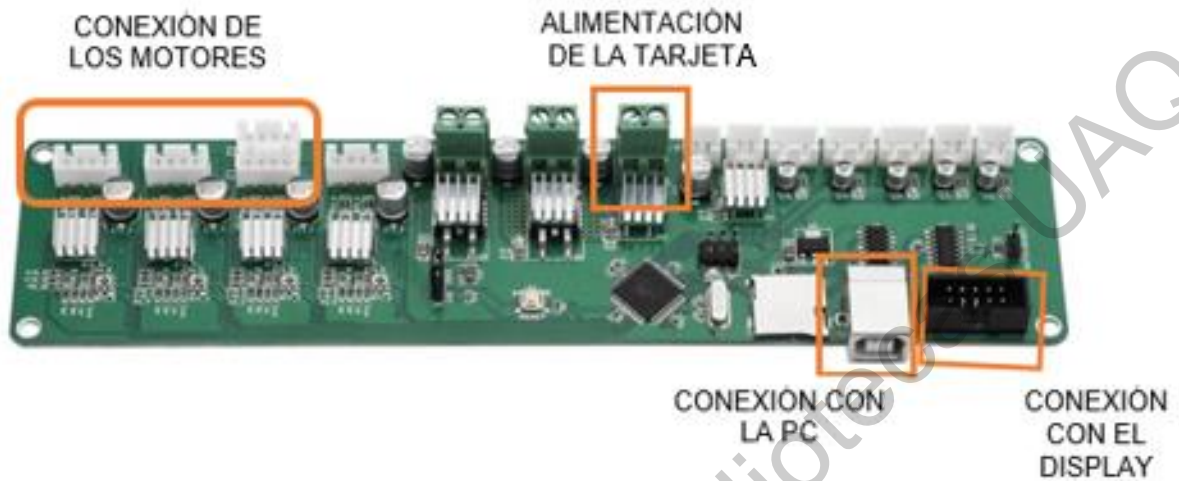


Figura 3.3. Tarjeta que se utiliza para el control de los ejes mediante códigos G

El sistema de aspersion consistió en un aerógrafo Nordson 781S (Figura 3.4), conectado a un compresor, el cual proporciono la presión requerida para que la tinta se adhiera adecuadamente, algunos estudios han revelado que la presión necesaria es de 50 psi, a una altura de 10cm, para este modelo de aerógrafo la presión mínima según el fabricante es de 70psi y no hay altura recomendada.

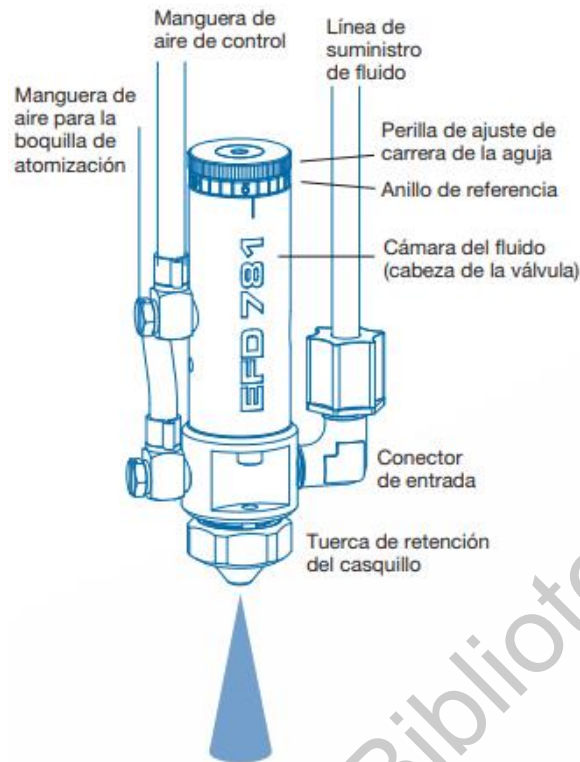


Figura 3.4. Aerógrafo profesional Nordson 781S

El sistema de aspersión se basa en un aerógrafo el cual contiene dos válvulas internas las cuales se conectan mediante dos entradas de aire, en una se controla la apertura y cierre de aerógrafo (Figura 3.5), en la otra se mezcla la pintura con el aire y a su vez se dispara dicha mezcla, además se le agregó una jeringa (como depósito de pintura) en la cual se vierte la pintura y por medio de gravedad esta entra al aerógrafo y se mezcla con el aire para ser depositada posteriormente en el papel.

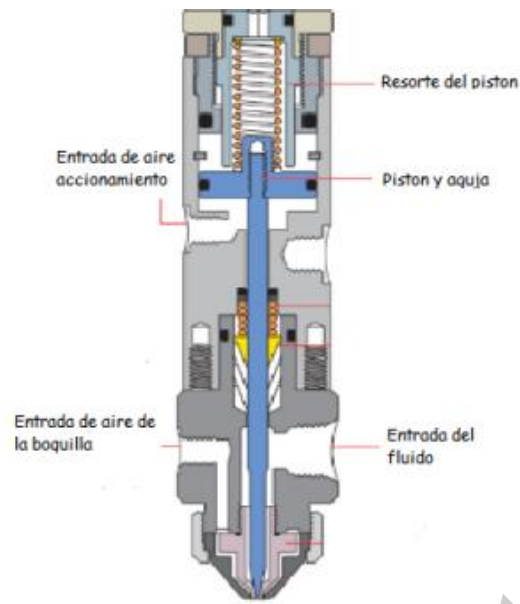


Figura 3.5. Funcionamiento del aerógrafo

Dichas válvulas se controlan mediante una tarjeta arduino (Apéndice B), la cual manda una señal a un relevador que activa o desactiva la válvula de apertura y cierre que deja pasar el aire (Figura 3.6).

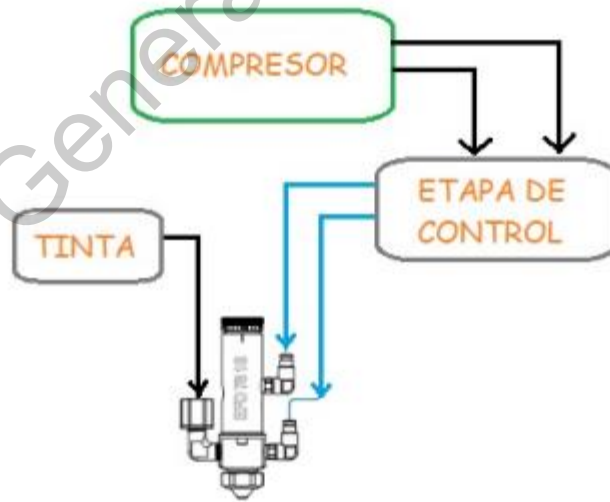


Figura 3.6. Etapas del proceso del aire, (la tinta cae por gravedad)

El control de aspersión es controlado por medio de una Arduino Uno R3 (Figura 3.7), la cual mando los pulsos según la frecuencia requerida, esta señal es enviada a un circuito que hace que las válvulas se alimenten estas a su vez se activen y desactiven para generar los movimientos requerido para mantener una presión constante. Utilizando frecuencias de 1.4mHz, 2.4mHz, 3.3mHz.



Figura 3.7 Arduino Uno R3.

El sistema se interconectó de la siguiente manera (Figura 3.8): el compresor se conectó a las válvulas las cuales después va conectadas al sistema de aspersión (aerógrafo, figura 3.8), estas válvulas se alimentan por medio de una fuente de voltaje (24V), la cual a su vez se conecta a un módulo relevador para que por medio de la computadora y la arduino se le mande la señal de control a una de las válvulas, al mismo tiempo se corrió el programa con los códigos-G los cuales son mandados a la tarjeta de control por medio de la computadora, en esta tarjeta están conectados los motores los cuales ejecutan las rutinas de posicionamiento.

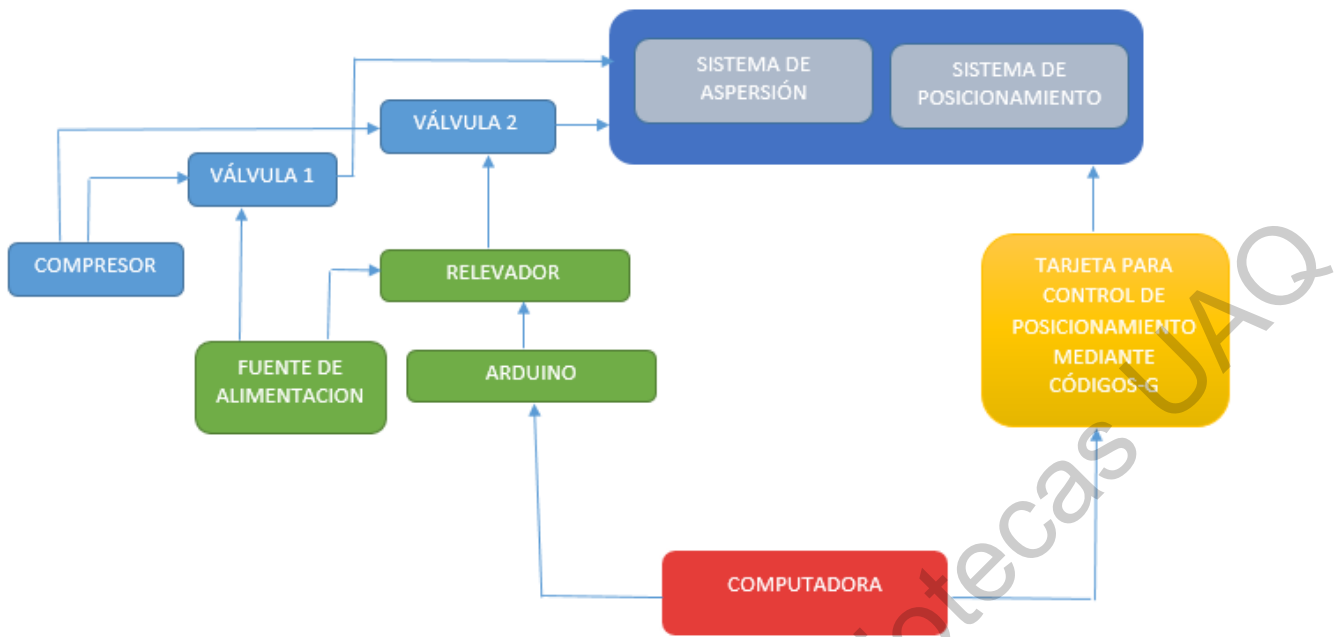


Figura 3.8 Interconexión de los sistemas (posicionamiento y aspersión)

3.3 Implementación del proceso de manufactura

Durante este capítulo se mostrará cómo es que la dinámica del posicionamiento y la de aspersión afectan a la deposición de la tinta sobre el papel.

3.3.1 Dinámica del posicionamiento

Para analizar la dinámica del posicionamiento se hicieron varias pruebas modificando algunos parámetros, como lo son, la velocidad del recorrido y la altura. Esta es controlada mediante una serie de instrucciones (códigos-g), que permiten hacer rutinas de movimiento.

Se realizaron 5 rutinas, la primera tres son desplazamientos en X y Y (Figura 3.8), y se utilizaron tres alturas distintas 1, 1.5 y 2 cm.

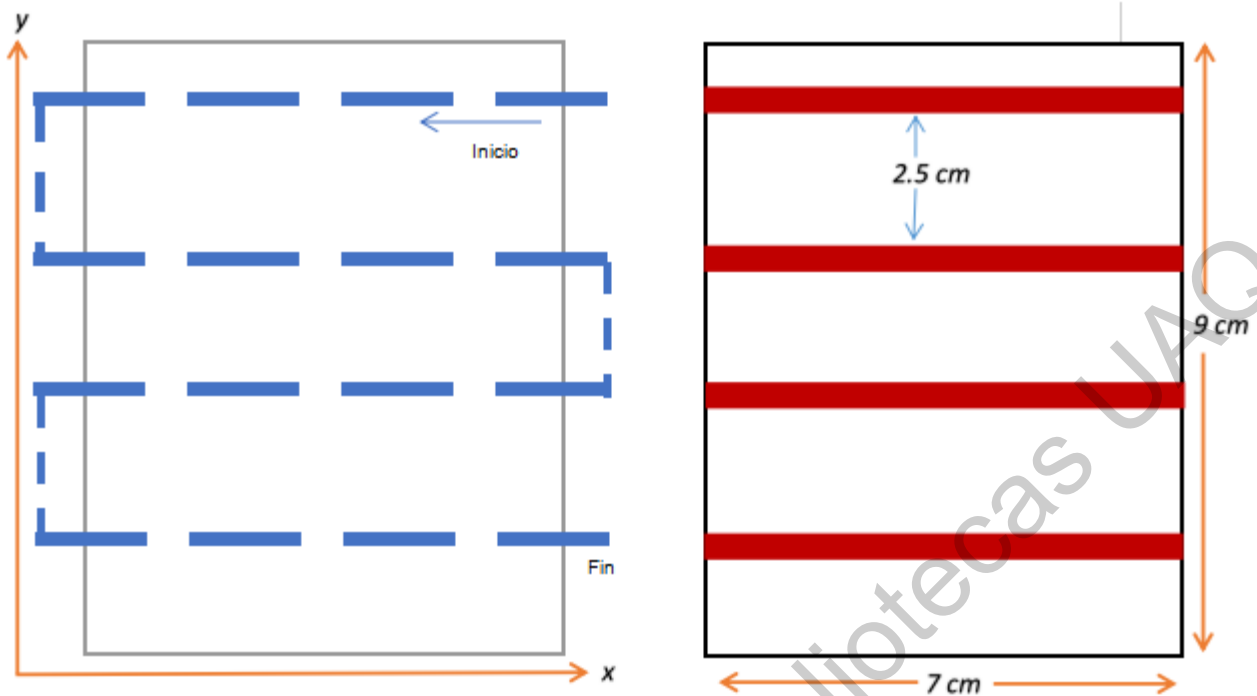


Figura 3.8. Muestra la trayectoria que se realizó sobre los ejes X y Y, y la medida del papel muestra

Las otras dos rutinas son desplazamientos en X, Y y una altura inicial de 1cm, se utilizaron dos variaciones de alturas distintas 1.5 y 2 cm, la cual realiza una especie de sube y baja, es decir, empieza en 1cm sube a 1.5cm estando a la mitad en X bajar a 1cm al final (Figura 3.9).

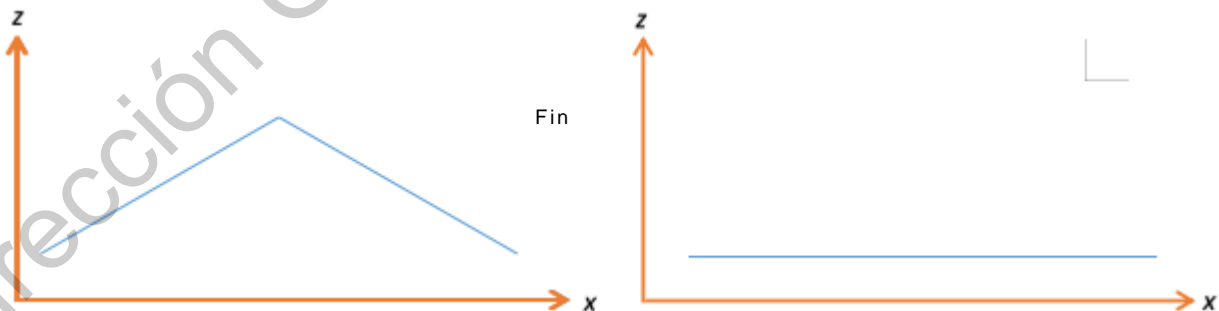


Figura 3.9. Muestra la trayectoria que se realizó sobre el eje Z, cuando la altura varía y cuando la altura es constante

3.3.2 Dinámica de la aspersión

La dinámica de aspersión se realizó mediante el control de las válvulas del aerógrafo, las cuales se pusieron a la misma presión (alrededor de 60 psi), pero con distintas frecuencias, se utilizaron 4 medidas diferentes (Figuras 3.10-3.12), 1.4mHz, 2.5mHz, 3.3mHz, 5mHz las tres últimas iban 50-50, es decir, 50% en alto y 50% en bajo, la primera se hizo 28.5-71.5, es decir, 28.5% en alto y 71.5% en bajo (Figura 3.14), esta se probó invertida 71.5-28.5, es decir, 71.5% en alto y 28.5% en bajo (Figura 3.13).

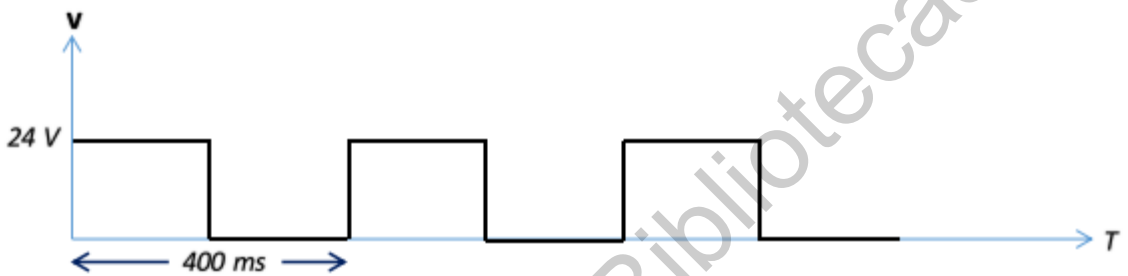


Figura 3.10 Escalón unitario para activar la válvula del aerógrafo, con una frecuencia de 2.5mHz

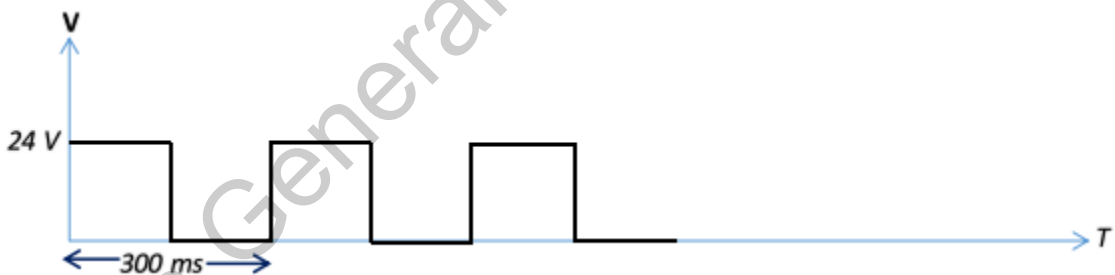


Figura 3.11 Escalón unitario para activar la válvula del aerógrafo, con una frecuencia de 3.3mHz



Figura 3.12 Escalón unitario para activar la válvula del aerógrafo, con una frecuencia de 5mHz

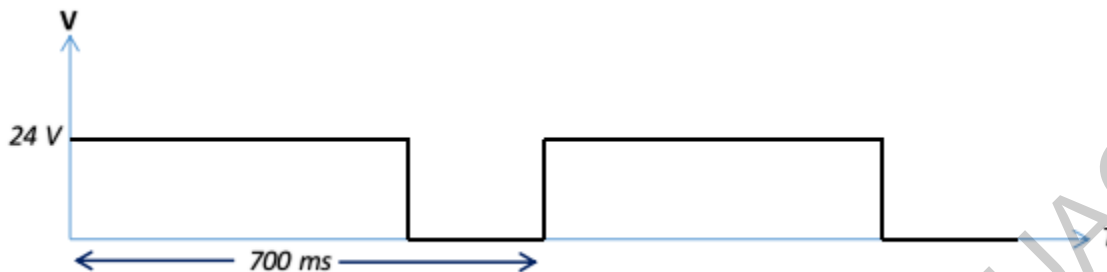


Figura 3.13 Escalón unitario para activar la válvula del aerógrafo, con una frecuencia de 1.4mHz, un 71.5 % en alto y 28.5 % en bajo

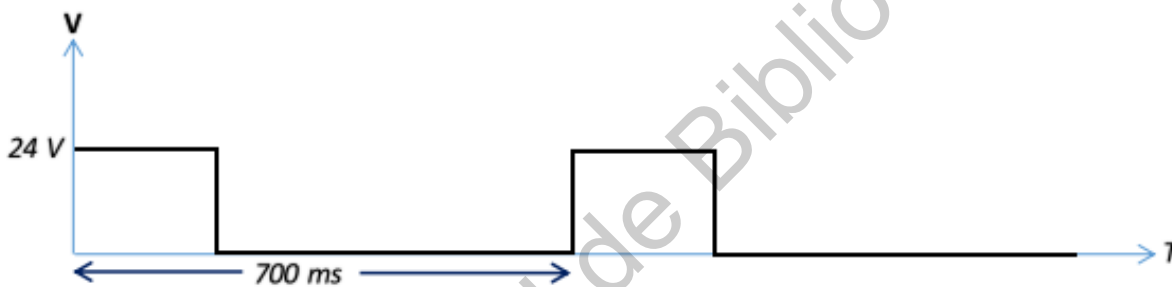


Figura 3.14 Escalón unitario para activar la válvula del aerógrafo, con una frecuencia de 1.4mHz, un 28.5 % en alto y 71.5 % en bajo

3.3.3 Caracterización de electrodos

La caracterización de los electrodos se realizó mediante dos mediciones de resistencia una en plano y flexionando el electrodo, dicha flexión tiene un radio de curvatura de 4cm (Figura 3.7).

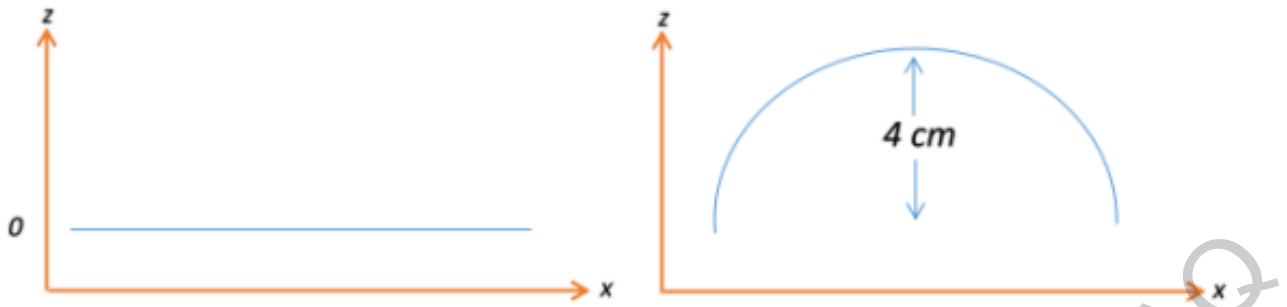


Figura 3.7 Caracterización de las mediciones a realizar

3.3.4 Pruebas realizadas

A lo largo de este trabajo, las pruebas se realizaron 8 veces cada combinación de casos (Tabla 3.1), con lo cual se busca ver la repetitividad de los valores de resistencia en los electrodos, además poder caracterizar cada caso en algún rango de resistencias y ver si ese cambio es significativo respecto a los demás casos, cada caso se refiere a las diferentes alturas que se usaron variando los demás parámetros.

Tabla 3.1. Pruebas realizadas.

	Altura (cm)	Velocidad (mm/min)	Frecuencia (ms)
Caso 1	1.0	500	200-200
Caso 2	1.5	800	150-150
Caso 3	2.0	1200	100-100
Caso 4	1.0-1.5		500-200
Caso 5	1.0-2.0		200-500

3.3.5 Tinta utilizada

La tinta usada para el proyecto es fabricada por la marca INKCU, la cual está compuesta de Grafito exfoliado, nanopartículas de cobre, ácido ascórbico, espesante base celulosa y disolvente acuoso. Esta combinación le permite una mejor conductividad en comparación con las tintas tradicionales de carbono. Está diseñada para aplicaciones basadas en la generación de capacitancia, tales como la elaboración de sensores táctiles, resistencias y aislamiento estático. Esta tinta si utilizó ya que es resistente a la degradación ambiental o por luz UV (ultra violeta), tiene baja resistencia a la abrasión mecánica y es flexible en películas de hasta 0.3 mm de espesor.

El uso de esta tinta se recomienda su uso en sustratos rugosos y no elásticos como papel, cartón, madera, plástico y fibra de vidrio. Tiene una densidad de 1.8 g/mL, una conductividad de 30 ohm/sqr para película de 0.1 mm, la operación recomendada para sus aplicaciones es hasta 24 V a 1 A, soporta hasta 110 V a 2 A en pistas con sección transversal de al menos 5 mm² de área.

Esta tinta generalmente es utilizada para serigrafía, o deposición por medio de pincel debido a sus propiedades como la viscosidad, tensión superficial y adherencia, por lo cual algunas de estas propiedades dificultan su aspersion.

Se probaron algunas mezclas para tratar de mejorar la aspersion, una mezcla que se utilizó fue tinta y agua, ya que es lo que recomienda el fabricante de la tinta (50% agua y 50% tinta), lo cual ocasionaba que el aerógrafo se tapara constantemente impidiendo realizar las pruebas de manera correcta, otra mezcla fue la de incluir etanol en vez de agua para ver si se reducía la viscosidad y evitar que se tapara, lo cual en un principio se pensó que fuera lo ideal, pero después de cierto tiempo la tinta perdía su propiedad conductiva y el aerógrafo se llegaba a tapar después de un largo tiempo de inactividad, por

último se buscó reducir la tensión superficial en vez de la viscosidad con lo cual se llegó a la siguiente preparación:

La preparación de la tinta para estas pruebas además de incluir agua se incluyó un surfactante con base de isopropanolamina (0.2%), etilen glicol n-hexilo (0.5%), hidróxido de amonio (29.4%), y sodio dodecil benceno sulfanato (0.2%). La solución se creó con 13ml de agua y 7ml de dicha sustancia, esto se mezcló con los 30g de pintura.

Esta mezcla dio los mejores resultados ya que no perdía sus propiedades conductivas y el aerógrafo ya no se tapa.

3.3.6 Costos

Para este proyecto se tuvo una inversión alrededor de 82 mil pesos los cuales se utilizaron para la compra de los equipos necesarios para este trabajo (Tabla 3.2).

TABLA 3.2 COSTOS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS	
Equipos	Costos en pesos
Aerógrafo	\$57,000.00
Sistema de posicionamiento	\$5,150.00
Compresor	\$4,329.00
Mangueras y accesorios	\$400.00
Arduino	\$150.00
Módulo relevador	\$60.00
Computadora	\$4,590.00
Fuente de voltaje	\$6,450.00
TOTAL =	\$78,129.00

4 Resultados

En esta sección se presentan los electrodos fabricados, además se muestran los resultados obtenidos después de realizar las pruebas bajo diferentes dinámicas de aspersion, así como las mediciones de resistencia tanto en plano como en curvatura.

4.1 Electrodo manufacturado

Las siguientes imágenes muestran algunos electrodos diseñados y fabricados (Figura 4.1a y Figura 4.1b), en los cuales el punto más importante para este trabajo es la resistividad en cada electrodo.

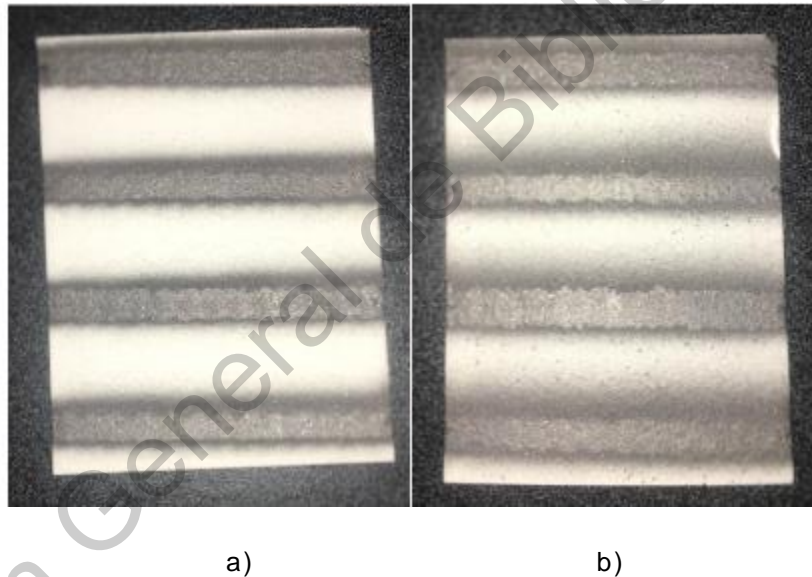


Figura 4.1. Es una plantilla realizada a) a un 1 cm de altura y b) a una altura de 1.5 cm

Las mediciones de resistencia se realizaron mediante un multímetro (Fluke 107), estas mediciones se realizaron en los extremos de cada electrodo (Figura 4.2) y lo más centrado posible.

Cada prueba de fabricación se tarda alrededor de un minuto y medio en realizarse, dependiendo el tiempo que se lleve en cambiar el papel ya que la

rutina automatizada tarda aproximadamente 80s, en cuanto a la tinta se utilizaron aproximadamente tres mililitros en cada prueba, el 1.5% de tinta en cada electrodo fabricado aproximadamente.

4.2 Efecto de la dinámica en el proceso de aspersión

Se realizaron dos tipos de medición de resistencia una en plano (Figura 4.2) y otra en flexión con un radio de curvatura de 4cm (Figura 4.3).

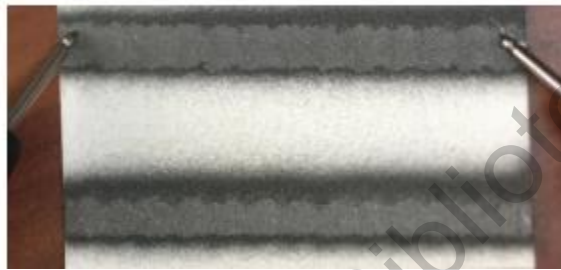


Figura 4.2. Medición en plano



Figura 4.3. Medición con una curvatura de 4cm

Después de hacer las mediciones, se vio que si cambian entre 55% y 65% más los valores de resistencia si se realizaban las mediciones en flexión.

4.2.1 Efecto debido a la altura

Se pudo notar que al variar la altura se obtuvieron diferencias entre una muestra y otra, no sólo en la medición de resistencia sino también físicamente es notorio ese cambio (Figura 4.4a y Figura 4.4b), ya que entre más grande sea la altura se requiere una separación mayor entre electrodos para que no se empalmen además de que a mayor altura es más uniforme el electrodo.

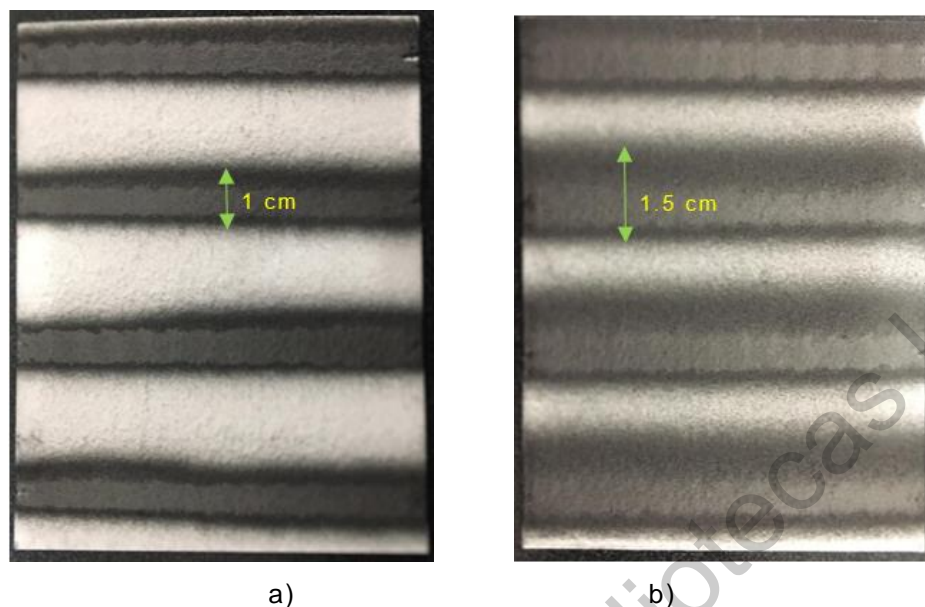


Figura 4.4 a) altura de 1 cm y grosor de la tinta depositada de 1 cm, b) altura de 2 cm y grosor de la tinta depositada de 1.5 cm

4.2.2 Electrodo fabricados de forma manual

En cuanto a las pruebas manuales se observa que los electrodos no son tan uniformes (Figura 4.5) puesto que dependen del pulso y la presión con la que se mueva el pincel y esto varía ya que es difícil que una persona pueda poner la misma presión cada vez que se hacen las pruebas por ello sería difícil obtener los mismo valores, además que para variar el grosor de las líneas se tiene la limitación de los tamaños de pinceles que haya; lo que dificulta más el procedimiento. Otro factor importante es la velocidad con la que se haga el recorrido la cual también es complicado hacerlas a la misma velocidad siempre, además de que en ocasiones la tinta del pincel se acaba antes de terminar una línea. Estas pruebas manuales tardan aproximadamente 20 segundos por pasada, pero en este caso si se debe esperar a que se seque la primera pasada (aproximadamente unos 40 segundos), para continuar con la siguiente pasada, esto aumenta el tiempo de fabricación a 2 min, a diferencia que con el sistema de aspersión que tardo uno y medio minutos, en estas pruebas es difícil saber cuánta tinta se utilizó.



Figura 4.5 Prueba realizada manualmente

4.2.3 Efecto de la frecuencia en las pruebas

Algunos efectos de la dinámica que puede observar son que, si la frecuencia baja de 400 ms, se presentan algunas inconsistencias por las vibraciones generadas en el aerógrafo (Figura 4.6); el electrodo no era lineal o en algunas partes saliera más pintura que en otras; por otra parte, si la frecuencia aumenta la válvula del aerógrafo no operaba, debido a la construcción del aerógrafo que no alcanzó su presión ideal y el espesor de la tinta que requiere de una presión contante, fue muy complicado obtener un buen resultado.

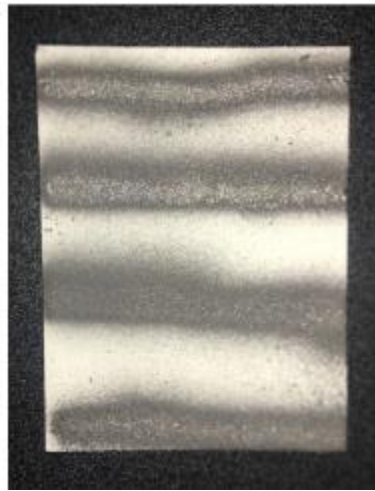


Figura 4.6. Inconsistencias debido a las vibraciones generadas

4.3 Desempeño de los electrodos en flexión

El desempeño de los electrodos se comprobó haciendo los dos tipos de mediciones una midiendo la resistividad en plano (Tabla 4.1) y otra generando flexión (Tabla 4.2), además se realizó una prueba manual que al igual que las anteriores se midió de forma plana (Tabla 4.3) y de forma curva (Tabla 4.4), dichas tablas muestran el promedio de las 8 mediciones, la desviación estándar y el promedio de ambas.

En estas pruebas si se mantuvo la conductividad ya que en algunas otras realizadas utilizando otras mezclas, después de cierto tiempo se perdía la conductividad.

Las mediciones de resistencia realizadas dejan ver que a medida que la altura aumenta de igual forma lo hace su valor de resistencia, además muestra que existe un rango de valores para cada caso. Es evidente que el caso 1 genero menores variaciones entre una medición y otra.

Tabla 4.1. Medición de resistencia realizadas de forma plana, a las pruebas automatizadas.			
	Promedio (Ω)	Desviación estándar	
Caso 1	736,50	2,449	0,3%
Caso 2	759,75	140,358	18,5%
Caso 3	850,50	41,531	4,9%
Caso 4	1688,25	662,446	39,2%
Caso 5	853,88	480,599	56,3%

Al hacer las mediciones en flexión se midieron valores mayores de resistencia que en las pruebas a una altura constante, si la altura es constante casi es el mismo incremento en los 3 casos, mientras que en el caso donde la altura varia, no es un cambio similar entre cada caso.

Tabla 4.2. Medición de resistencia realizadas en flexión, a las pruebas automatizadas.				
	Promedio (Ω)	Diferencia entre la medición en flexión y la medición lineal (Ω)	Desviación estándar	
Caso 1	1177,50	441	191,725	16,3%
Caso 2	1165,13	405,35	387,440	33,3%
Caso 3	1291,63	440,0	168,194	13,0%
Caso 4	2646,25	958	951,023	35,9%
Caso 5	1398,25	544,37	860,077	61,5%

En las mediciones de resistencia manuales se resalta que son valores más pequeños que en las pruebas automatizadas, esto debido a que la tinta no penetra de igual manera el papel que cuando es aventado por el aire (el aerógrafo), además de las irregularidades que presenta las pruebas manuales por cuestiones como la velocidad y presión que se ejercen al pincel.

Tabla 4.3. Medición de resistencia realizadas de forma plana, a las pruebas manuales.

Promedio (Ω)	Desviación estándar	
301,38	30,696	10,2%

Es claro que, al generar una flexión en el papel, el electrodo cambia su valor de resistencia, este tiende a aumentar, de igual manera el cambio no es tan grande como en el caso automatizado ya que no tiene la misma penetración de tinta.

Tabla 4.4. Medición de resistencia realizadas en flexión, a las pruebas manuales.

Promedio (Ω)	Desviación estándar	
420,38	21,172	5,0%

Es importante resaltar que en todas estas pruebas si se obtuvieron valores de resistencia medibles, principalmente por la mezcla de pintura (pruebas manuales) y por la frecuencia adecuada que permite que la parte automatizada opere adecuadamente (pruebas automatizadas).

5 Conclusiones

Algunas conclusiones a las que se llegó con el desarrollo de este trabajo fueron:

Se logro automatizar un sistema para la fabricación de electrodos mediante manufactura aditiva, dicho sistema fue compuesto por dos partes: el posicionamiento, el cual se basó en un sistema de tres ejes y el sistema de aspersion el cual permite ser controlado mediante su frecuencia de aspersion. Además, se realizó algunas rutinas con las cuales se pudo ver como la dinámica de fabricación si influye en cada prueba ya que si obtuvimos mediciones de resistencia distintos. Estas pruebas se realizaron de tres formas diferentes variando algunos parámetros en cada tipo de prueba, como lo fueron un movimiento lineal, un movimiento de sube y baja y la prueba manual, esto permitió que se pudieran compara los distintos métodos. Al analizar los resultados se puedo proponer en base a esos valores de resistencia nuevas rutinas a futuro que permitan tener valores más específicos o para alguna aplicación en especial, como lo son algún tipo de sensor.

Aunque la tinta no está diseñada para ser aplicada por medio de aspersion se logró la fabricación de electrodos funcionales en flexión. La composición química de la tinta dificulta el poder utilizar una boquilla más pequeña ya que a una dimensión más chica algunas partículas se atorán en la boquilla y complica el proceso. Se pudo determinar que a bajas frecuencias (200 o 300 ms) el aerógrafo se comporta de forma inestable, ya que las vibraciones mecánicas afectan al sistema, mientras que a una frecuencia mayor (700 ms) el aerógrafo no opera debido a que la presión no es la ideal, ni para el aerógrafo ni para hacer que la tinta salga.

Se observó que la velocidad también influye ya que, a una velocidad alta, en algunos puntos no se deposita tinta y se tenían que hacer muchas pasadas que tardarían más tiempo que a una velocidad más baja, ahora a una velocidad

más baja, se desperdicia más tinta y se requiere una separación mayor ya que pueden invadir otro electrodo, además que el área efectiva puede llegar a variar.

La altura genera un cambio ascendente de resistencia a medida que la altura es mayor, siempre y cuando los electrodos sean fabricados de manera línea. La flexión en los electrodos si produce un cambio de resistividad (aumenta su valor). Las pruebas automatizadas en comparación con las manuales tienen la ventaja de que no se requiere dejar secar ya que, al ser depositado mediante el aerógrafo, tiene mejor penetración en el papel y se pueden dar las siguientes pasadas enseguida, la prueba manual es ligeramente más rápida, pero al tener que dejar secar eso lo hace más lento que si se automatiza.

5.1 Prospectivas.

Se piensa que más adelante se puedan crear algunos circuitos con figuras geométricas, las cuales se puedan caracterizar a cierto valor de resistencia, además de poder acoplar algún otro sensor al dispositivo para que sea aún más automatizado. Al tener diferentes valores de resistencia en cada prueba deja ver que se podrían caracterizar algunos valores y rutinas, para obtener algún valor específico de resistencia o un rango de resistencia en el cual se puedan crear con cierta rutina. Además, se podrían fabricar algunos electrodos para que trabajen bajo flexión únicamente, y con algún valor previamente caracterizado.

5.1.1 Aplicaciones

Algunas aplicaciones que se le pueden dar a estos electrodos fabricados son en la creación de sensores, pistas para algún diseño, resistencias, casi en cualquier aplicación que tenga que ver con electrónica flexible.

6 Referencias bibliográficas

- 1.- Agarwala, S., Goh, G. L., & Yeong, W. Y. Optimizing aerosol jet printing process of silver ink for printed electronics. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Abril 2017.
- 2.- Bjorninen T, Virkki J, Sydanheimo L, et al. Manufacturing of antennas for passive UHF RFID tags by direct write dispensing of copper and silver inks on textiles. In: Proceedings of International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications.
- 3.- Cao C.Y., Andrews J.B., and Franklin A.D., "Completely Printed, Flexible, Stable, and Hysteresis-Free Carbon Nanotube Thin-Film Transistors via Aerosol Jet Printing," May, 2017.
- 4.- Carleo J., CNC programming techniques an insider's guide to effective methods and applications, 2006.
- 5.- Falco A. "Fully Printed Flexible Single-Chip RFID Tag with Light Detection Capabilities," Sensors, Mar, 2017.
- 6.- Hibbeler R.C., Mecánica de materiales, 2006.
- 7.-Kim Jaemin., Ultrathin Quantum Dot Display Integrated with Wearable Electronics, 2017.
- 8.- Lladó D.M., Sánchez L.I., Navarro M.A., Competencias profesionales y empleabilidad en el contexto de la flexibilidad laboral, 2013.
- 9.- Matsuhisa N, Kaltenbrunner M, Yokota T, Printable elastic conductors with a high conductivity for electronic textile applications. Nat Commun, 2015.
- 10.- Nisato G., Lupo Donald and Ganz Simone, "Organic and Printed Electronics Fundamentals and Applications", 2016
- 11.- Perez-Cruz A., Stiharu, I. and Dominguez-Gonzalez A., "Lorentz force actuation of paper-based electromechanical systems.", 2017.

12.- Petukhov D I, Kirikova M N, Bessonov A A, Nickel and copper conductive patterns fabricated by reactive inkjet printing combined with electroless plating, 2014.

13.- Shin S R, Farzad R, Tamayol A, A bioactive carbon nanotubebased ink for printing 2D and 3D flexible electronics, 2016.

14.-Tang Jun., Highly Stretchable Electrodes on Wrinkled Polydimethylsiloxane Substrates, 2015

15.- Wang X., and Liu J., “Recent advancements in liquid metal flexible printed electronics: Properties, technologies, and applications”, 2016.

16.- Wong, Salleo, Alberto, William S., Flexible Electronics: Materials and Applications, 2009.

17.- Zhang Q., Gao Y., and Liu J., “Atomized spraying of liquid metal droplets on desired substrate surfaces as a generalized way for ubiquitous printed electronics”, 2014.

18.- Zhou L., “Screen-Printed Poly (3, 4-Ethylenedioxythiophene): Poly (Styrenesulfonate) Grids as ITO-Free Anodes for Flexible Organic Light-Emitting Diodes”, 2018.

Dirección General de Bibliotecas UNQ

7 Apéndice A

Codigos-G, para la los movimientos en X y Y.					
N10	G91	G21			
N20	G01	X0.0	Y0.0	Z0.0	F800
N30	G01	X-10.0	Y0.0	Z0.0	
N40	G01	X90.0	Y0.0	Z0.0	
N50	G01	X90.0	Y25.0	Z0.0	
N60	G01	X0.0	Y25.0	Z0.0	
N70	G01	X0.0	Y50.0	Z0.0	
N80	G01	X90.0	Y50.0	Z0.0	
N90	G01	X90.0	Y75.0	Z0.0	
N100	G01	X0.0	Y75.0	Z0.0	
N110	G01	X0.0	Y0.0	Z0.0	

Codigos-G, para la los movimientos en X y Y, y variando la coordenada Z de 1 cm a 1.5 cm.					
N10	G91	G21			
N20	G01	X0.0	Y0.0	Z0.0	F800
N30	G01	X-10.0	Y0.0	Z0.0	
N40	G01	X0.0	Y0.0	Z0.0	
N50	G01	X45.0	Y0.0	Z10.0	
N60	G01	X90.0	Y0.0	Z0.0	
N70	G01	X90.0	Y25.0	Z0.0	
N80	G01	X45.0	Y25.0	Z10.0	
N90	G01	X0.0	Y25.0	Z0.0	
N100	G01	X0.0	Y50.0	Z0.0	
N110	G01	X45.0	Y50.0	Z10.0	
N120	G01	X90.0	Y50.0	Z0.0	
N130	G01	X90.0	Y75.0	Z0.0	
N140	G01	X45.0	Y75.0	Z10.0	
N150	G01	X0.0	Y75.0	Z0.0	
N160	G01	X0.0	Y0.0	Z0.0	

Codigos-G, para la los movimientos en X y Y, y variando la coordenada Z de 1 cm a 2 cm.

N10	G91	G21			
N20	G01	X0.0	Y0.0	Z0.0	F800
N30	G01	X-10.0	Y0.0	Z0.0	
N40	G01	X0.0	Y0.0	Z0.0	
N50	G01	X45.0	Y0.0	Z5.0	
N60	G01	X90.0	Y0.0	Z0.0	
N70	G01	X90.0	Y25.0	Z0.0	
N80	G01	X45.0	Y25.0	Z5.0	
N90	G01	X0.0	Y25.0	Z0.0	
N100	G01	X0.0	Y50.0	Z0.0	
N110	G01	X45.0	Y50.0	Z5.0	
N120	G01	X90.0	Y50.0	Z0.0	
N130	G01	X90.0	Y75.0	Z0.0	
N140	G01	X45.0	Y75.0	Z5.0	
N150	G01	X0.0	Y75.0	Z0.0	
N160	G01	X0.0	Y0.0	Z0.0	

8 Apéndice B

El código que se utilizó para controlar la válvula fue el siguiente:

```
int A = 13;
void setup()
{
    pinMode(A,OUTPUT);
}
void loop()
{
    digitalWrite(A,HIGH);
    delay(200);
    digitalWrite(A,LOW);
    delay(200);
}
```

Dirección General de Bibliotecas UAQ

9 Apéndice C

Válvulas Atomizadoras de la Serie 781S

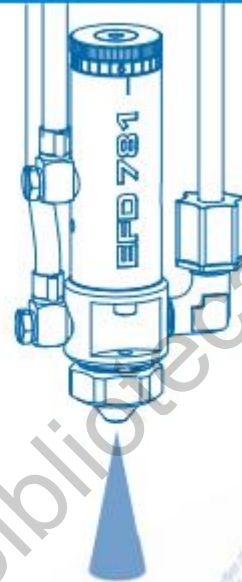
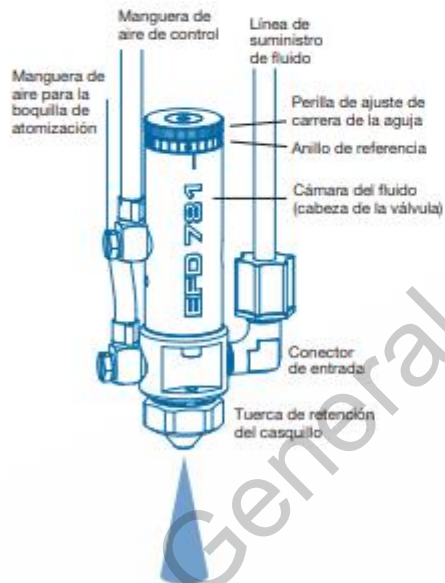
Guía de Instalación

Introducción

Las precisas válvulas atomizadoras de la Serie 781S, de bajo volumen a baja presión, están diseñadas para proporcionar alta eficiencia de transferencia sin sobre-aplicaciones o nebulización y proporcionan una aplicación consistente de fluidos de baja a alta viscosidad.

Las válvulas de la Serie 781S son muy sencillas de utilizar y funcionan por millones de ciclos de dosificación sin la necesidad de mantenimiento. Las válvulas atomizadoras se limpian purgándolas con un solvente apropiado.

El cuerpo del cilindro de la 781S está fabricado de aluminio anodizado endurecido. La válvula modelo 781S-SS está hecha enteramente de acero inoxidable.

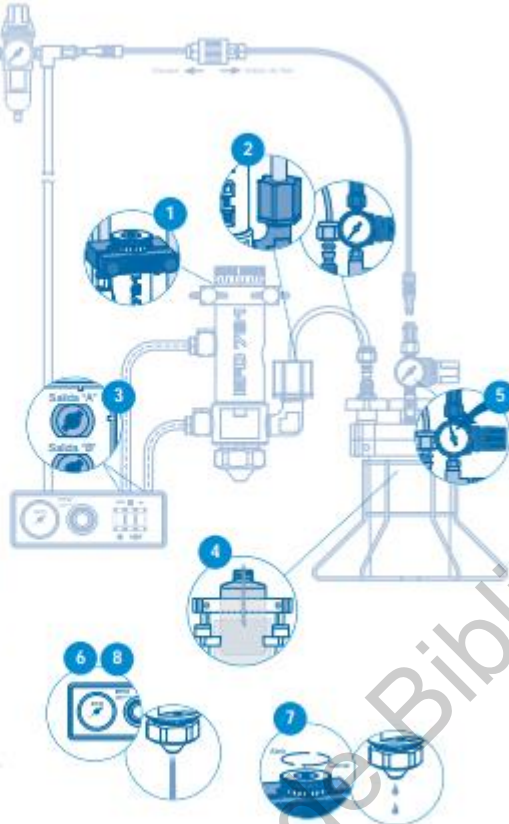


Archivos electrónicos de los manuales Nordson EFD en formato pdf también están disponibles en www.nordsonefd.com

Instalación de la 781S

Para familiarizarse con la operación de todos los componentes del sistema de dosificación, antes de instalar la válvula, por favor lea las instrucciones de operación del controlador de la válvula y recipiente correspondiente del fluido.

1. Monte la válvula utilizando el soporte universal EFD (#7002VM) o algún otro dispositivo.
2. Conecte la línea de alimentación del fluido al puerto de entrada y al recipiente.
3. Conecte la manguera de aire de control (etiquetada con "A") y la manguera de aire para la boquilla de atomización (etiquetada con "B") a las salidas correspondientes localizadas en el controlador ValveMate™ (o algún otro interruptor neumático).
4. Vierta el fluido directamente al vaso desmontable del recipiente o coloque la botella con el fluido del fabricante dentro del recipiente. Asegure la tapa del recipiente antes de presurizarlo.
5. Ajuste la presión de acuerdo a la viscosidad del fluido. Baja viscosidad – baja presión, alta viscosidad – alta presión.
6. Cierre la presión de aire de atomización en el regulador del controlador. Abra el control de la cámara de la aguja una vuelta completa. Coloque un recipiente debajo de la boquilla y active la válvula hasta que las líneas del fluido estén llenas de aire.
7. Utilizando la perilla de control de la cámara de la aguja, ajuste el flujo del fluido a razón de uno o dos gotas por segundo. Activando el controlador en el modo de "temporizador neutralizado", verifique el régimen de flujo. Ajuste el controlador y haga los ajustes de cámara necesarios.
8. Ajuste la presión de aire en el controlador ValveMate 7040 a 10 psi y actívelo. La válvula producirá una fina atomización. Para variar el flujo de fluido, utilice la perilla de control de la cámara de la aguja y/o la presión en el recipiente. Para cambiar la presión de aire de atomización, utilice el regulador de presión de atomización. Las presiones más elevadas producirán atomizaciones más finas.



Nota: La cobertura del área de atomizado se determina por la distancia entre la boquilla atomizadora y la superficie de trabajo. Para determinar esta distancia, vea las gráficas en la última página de esta guía.

Cómo Opera la Válvula

La presión de aire de entrada de 4,8 bar (70 psi) retrae la aguja ① de su asiento ② permitiendo el paso del fluido a través de la boquilla. Al mismo tiempo, el aire de atomización comienza a fluir a través del orificio ③ alrededor de la boquilla del líquido. Este aire ajustable crea una caída de presión alrededor de la boquilla, pulverizando el fluido en finas gotitas.

El volumen de atomización se controla por medio del tiempo de apertura de la válvula, presión en el recipiente y la cámara de la aguja. La cobertura del área de atomización se determina por la distancia entre la boquilla atomizadora y la superficie de trabajo.

Para calibrar o documentar el proceso de dosificación, utilice la referencia del control de desplazamiento. Para calibrar, gire el ajuste de calibración (localizado al final de la perilla de control de desplazamiento) dos vueltas completas. Cierre la perilla de ajuste del desplazamiento por

completo, hasta que haga contacto con el cuerpo de la válvula. Gire el ajuste de calibración hasta el tope, calibrando la válvula a cero desplazamiento.*



* Para limitar ajustes no autorizados, puede ordenar la válvula 781S con control contra manipulaciones. Especificar parte #781S-TR o 781S-SB-TR.

El principal control del tamaño del depósito es el tiempo de apertura de la válvula.

El Concepto del ValveMate™

El ValveMate 7040 facilita ajustar el flujo de la válvula, proporcionando al usuario un máximo de eficiencia y conveniencia. El tiempo de apertura de la válvula es el principal control del tamaño del depósito. El 7040 proporciona el ajuste de este tiempo, por medio de botones a presión, exactamente donde debe estar – junto a la válvula.

El circuito microprocesador incorporado en el controlador proporciona un control exacto de la atomización y una definición excepcional del patrón de atomizado. Para asegurar un corte limpio del fluido, el ValveMate 7040 incluye una función de desfaseamiento del tiempo de flujo del aire de atomizado al cierre de la válvula.

El tamaño del depósito puede ser programado utilizando el módulo instructor (función TEACH). Esto ofrece un fácil punto de partida para definir el tamaño del depósito.

Nota: Las mesas de coordenadas XYZ TT 325 y 525 de EFD contienen controladores ValveMate integrados para operar las válvulas dosificadoras de EFD.

Indicador de presión del aire de atomización Regulador de presión del aire de atomización



Panel Posterior: entrada de aire (selector de voltaje) salida de aire hacia la válvula aire para boquilla de atomización conector de EFS conector para pedal opcional

Tabla de Control: ajuste del tiempo neutralizar el temporizador verificación del ciclo cambio del punto decimal restaurar módulo/instructor (TEACH) ajuste del desfaseamiento ajuste de corrección

www.norbanoff.com eparts@norbanoff.com Latin America +1 401 434 7000 México 001 800 554 3484 Puerto Rico 800 554 3484 Spain +34 96 313 20 90



Especificaciones para Serie 781S

781S y MM781-SYS

Peso: 235,3 gramos (8,29 oz)

Cámara de fluido: Aluminio anodizado endurecido

Cuerpo de la válvula: Aluminio anodizado endurecido

781S-SS

Peso: 405,3 gramos (14,29 oz)

Cámara de fluido: Acero inoxidable tipo 303

Cuerpo de la válvula: Acero inoxidable tipo 303

Generales

Tamaño: 104,6 mm longitud x 26,9 mm diámetro
(4,12" x 1,06")

Casquillo de aire: Acero inoxidable tipo 303

Pistón: Acero inoxidable tipo 303

Aguja y boquilla: Acero inoxidable tipo 303

Orificio libre para flujo: 1,17 mm (0,046"); 0,71 mm (0,028"); ó 0,36 mm (0,014")

Empaques de la aguja: Teflón®

Rosca del orificio de entrada del fluido: 1/8 NPT
hembra

Montaje: (1) Orificio roscado 1/4-28 UNF

Presión requerida de aire: 4,8 a 6,2 bar (70 a 90 psi)

Presión máxima del fluido: 20,7 bar (300 psi)

Temperatura máxima de operación: 102° C (215° F)

Frecuencia de operación: Excede 400 ciclos/minuto

Nota: Todas las partes de acero inoxidable de la válvula son de acero inoxidable pasivado.

Para lograr una operación consistente y facilitar el ajuste de salida de la válvula, Nordson EFD recomienda el uso del controlador ValveMate 7040 en todas las aplicaciones automáticas, semiautomáticas y manuales.

Los sistemas de posicionamiento EFD de la Serie TT, incorporan un sistema de control de dosificación en el sistema principal.

Para obtener detalles, contacto al Grupo de Asistencia Técnica de los Sistemas de Válvulas Dosificadoras de EFD.

Patrones de Atomización

Patrón Redondo de Cobertura del Área

Distancia entre la Boquilla y la Superficie de Trabajo

Boquillas	25,4 mm 1"	50,8 mm 2"	76,2 mm 3"	152,4 mm 6"
#7807-16SS Estándar 1,17 mm (0,046")	6,35 mm 0,25"	12,70 mm 0,50"	19,05 mm 0,75"	25,40 mm 1,00"
#7807-1699A-SS Ángulo amplio 1,17 mm (0,046")	19,05 mm 0,75"	25,40 mm 1,00"	50,80 mm 2,00"	No se recomienda
#7807-26SS 0,71 mm (0,028")	5,08 mm 0,20"	10,16 mm 0,40"	15,24 mm 0,60"	20,32 mm 0,80"
#7807-14SS 0,36 mm (0,014")	4,32 mm 0,17"	8,64 mm 0,34"	12,70 mm 0,50"	25,40 mm 1,00"



Patrón Ovalado de Cobertura del Área

Distancia entre la Boquilla y la Superficie de Trabajo

Boquillas	25,4 mm 1"	50,8 mm 2"	76,2 mm 3"	152,4 mm 6"
#7807-16SS 1,17 mm (0,046")	25,40 mm 1,00"	25,40 mm 1,00"	50,80 mm 2,00"	50,80 mm 2,00"
#7807-16WF-SS 1,17 mm (0,046")	28,1 mm 1,10"	60,5 mm 2,40"	82,8 mm 3,25"	140,1 mm 5,50"
#7807-26SS 0,71 mm (0,028")	10,16 mm 0,40"	20,32 mm 0,80"	20,32 mm 0,80"	50,80 mm 2,00"
#7807-14SS 0,36 mm (0,014")	0,36" 9,14 mm	0,68" 17,27 mm	1,00" 25,40 mm	2,00" 50,80 mm



Para ventas y servicio Nordson EFD en más de 30 países llame a EFD o visite www.nordsonefd.com
Latín America
East Providence, RI USA +1-401-431-7000
México 001-800-556-3484 Puerto Rico 800-556-3484
espanol@nordsonefd.com

EFD International Inc.
P.O. Box 1000, East Providence, RI 02912
46910 Alifan, Valencia, España
+34 96 313 20 90
espanol@nordsonefd.com

EFD y EFD son marcas registradas de EFD Corp.
El Diseño de Oro es una marca registrada de Nordson Corporation.
© 2010 Nordson Corporation 7807-0000-01 4/09 010