



UNIVERSIDAD DE SEVILLA  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN



RESUMEN DEL PROYECTO FIN  
DE CARRERA

**SCREEN PRINTING PARA  
DISPOSITIVOS ELECTRONICOS**

*Autor:* Juan Carlos Doncel-Moriano Gómez  
*Tutor:* Fernando Muñoz Chavero

# INDICE

<b>1. INTRODUCCION.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Información General.....</b>	<b>4</b>
<b>2. DISPOSITIVOS IMPRESOS CON SCREEN PRINTING.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Baterías impresas.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Etiquetas y antenas en RFID.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Displays.....</b>	<b>7</b>
<b>2.4 Nuevas tecnologías.....</b>	<b>8</b>
<b>3. TECNOLOGÍA DE IMPRESIÓN SCREEN PRINTING.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Información general.....</b>	<b>9</b>
<b>3.2 Componentes y procesos en screen printing.....</b>	<b>10</b>
<b>4. EXPERIMENTO DE LINEAS IMPRESAS EN PLATA.....</b>	<b>12</b>
<b>4.1 Información general.....</b>	<b>12</b>
<b>4.2 Procedimientos del experimento.....</b>	<b>13</b>
<b>4.2.1 Características físicas de las líneas impresas....</b>	<b>13</b>

<b>4.2.1.1 Obtención de las características físicas.....</b>	<b>13</b>
<b>4.2.1.2 Descripción del procesado de las líneas.....</b>	<b>14</b>
<b>4.2.1.3 Código para el procesado de las líneas impresas.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2.2 Resistencia de las líneas impresas.....</b>	<b>19</b>
<b>4.2.2.1 Proceso de obtención de la resistencia.....</b>	<b>19</b>
<b>4.3 Conclusiones del experimento.....</b>	<b>20</b>
<b>5. IMPLEMENTACION DE UN DISPOSITIVO.....</b>	<b>26</b>
<b>6. CONCLUSIONES FINALES.....</b>	<b>27</b>
<b>7. REFERENCIAS.....</b>	<b>28</b>
<b>8. LISTA DE FIGURAS Y TABLAS.....</b>	<b>30</b>

# 1. INTRODUCCION

## 1.1 Información general.

En los últimos tiempos las técnicas de impresión han sido desarrolladas ampliamente en diversos campos, entre los cuales podemos encontrar los dispositivos electrónicos. Las ventajas de emplear la técnicas de impresión en lugar de tecnologías convencionales son la reducción del número de procesos en la producción, dicho procesos son aditivos con lo que se minimizan los residuos, el coste relativo de los equipos y la velocidad de producción.

El objetivo principal de esta tecnología es la fabricación diversos dispositivos, como por ejemplo, baterías, displays, sensores, etc. usando un único material, ahorrando de esta manera en costes y mejorando la fiabilidad. El principio fundamental es la creación de dispositivos electrónicos usando un proceso único y continuo. Se espera que en un futuro el tradicional chip de silicio sea remplazado por los nuevos emergentes dispositivos impresos que serían capaces de proporcionar en un futuro dispositivos de bajo coste y poco contaminantes. Sin embargo, viendo la madurez que experimenta el silicio actualmente, esta sustitución es muy poco viable.

En este informe sólo será tratado uno de los métodos de impresión de los varios que hay disponibles, dicho método es screen printing. Cabría destacar la importancia de esta tecnología dentro de los métodos de impresión, ya que una gran mayoría de componentes de dispositivos electrónicos impresos son casi totalmente impresos usando screen printing.

Un gran punto a su favor es la posibilidad de crear dispositivos dotados de cierta flexibilidad, ofreciendo alternativas a los típicos dispositivos rígidos. Este criterio tiene aplicación directa en los displays flexibles. En las próximas secciones se describen algunas aplicaciones impresas con relevancia comercial en el mercado actual.

## **2. DISPOSITIVOS IMPRESOS CON SCREEN PRINTING**

### **2.1 Baterías impresas.**

Existen varias compañías que actualmente desarrollan investigación y fabricación de baterías finas y flexibles, tales como Cymbet Corp, Elk River, MN; Infinite Power Solutions, etc. Además el mercado se está expandiendo constantemente.

Las tecnologías desarrolladas hasta el momento permiten la fabricación tanto de baterías recargables microscópicas como macroscópicas, sobre casi cualquier sustrato o incluso integradas en el dispositivo para proporcionar mayor robustez. Esta integración dentro del encapsulado, IC o LCD puede ofrecer increíbles ventajas como la ausencia de contactos en el sistema para conectar la batería. En este caso la recarga se realizaría a través de medios inductivos o RF. Otra ventaja sería la reducción del peso y el tamaño del sistema final debido al diseño de la batería sería específico para la aplicación.

Algunas características destacables de las baterías flexibles serían la versatilidad de las dimensiones realizables desde pocos micrometros cuadrados a decenas de centímetros cuadrados, y grosores de 5 a 25  $\mu\text{m}$ . Además la posibilidad de ser recargadas más de 60000 ciclos vía RF, los bajos niveles de contaminación, el bajo coste y grandes tiradas generables debido a la fabricación mediante screen printing, y su resistencia ante torsiones hacen de estos dispositivos una apuesta muy factible.

Los campos de aplicación de las baterías flexibles son innumerables habiendo sido incorporadas en etiquetas RFID, en tarjetas inteligentes, en circuitos microelectrónicos integradas en placa (SRAM, Clock, Microcontroller, etc.), en implantes médicos, en aplicaciones militares y aeroespaciales, etc.

## 2.2 Etiquetas y antenas en RFIDs.

RFID (Radio frequency identification) es un sistema de auto-identificación que usa comunicaciones vía radio para la transmisión de información a un sistema receptor relativamente remoto. Existen limitaciones técnicas y unos costes considerables en su introducción, pero una vez que estas barreras puedan ser superadas, su utilización podría extenderse a la identificación y seguimiento de todo tipo de artículos.

Este sistema wireless ofrece una alternativa a mercados donde los códigos de barras UPC (Universal Product Code) no pueden ser utilizados en condiciones óptimas. RFID posee ventajas sobre los códigos de barras en materias tales como la identificación automática de objetos remotamente, sin necesidad de realizar un escaneado manual o requiriendo línea de visión.

Esta tecnología puede ofrecer muchos beneficios debido a características tan destacables como la lectura simultánea de diversos artículos, la posibilidad de recepción incluso a través de muros y obstrucciones, la posibilidad de una considerable capacidad para almacenamiento dinámico de información, etc. Los sistemas RFID se componen de tres elementos básicos que participan en proceso de identificación y son el RFID transponder, el reader/writer and the host system.

El RFID transponder es el elemento situado en el producto a ser identificado, y se compone de un circuito integrado simple, una memoria de baja capacidad y una antena de RF, y dependiendo si es activo o pasivo poseerá una batería integrada o no. La antena de RF se puede obtener por el método de impresión screen printing, ofreciendo una mejor alternativa a la actual etched copper antena. Además, dichas antenas se caracterizan por sus bajos niveles de contaminación al ser desechadas, altos volúmenes de producción y un buen comportamiento eléctrico y mecánico.

## 2.3 Displays.

Varias tecnologías se han hecho un hueco en el mercado, donde los actuales ingresos se estiman en decenas de millones de dólares al año, y se espera doblar dichos ingresos en los próximos 5 años. Entre las tecnologías más importantes en la fabricación de displays se encuentran las pantallas de cristal líquido (LCD), las pantallas de plasma, displays electroluminiscentes (ELD), y displays de emisión de campo (FED).

De acuerdo con los procesos de fabricación mencionados sólo las dos últimas tecnologías pueden ser implementadas casi en su totalidad usando screen printing. En el caso de los displays electroluminiscentes, se distinguen dos procesos ELD película gruesa y ELD película fina. Siendo la última de las dos fabricada empleando screen printing, aunque el rendimiento alcanzado en términos de tiempo de vida (10000 hr) y resolución es más pobre que la primera (40000 hr).

Una tecnología a destacar por ofrecer unas expectativas favorables a corto plazo es FED. Los beneficios que ofrece respecto al resto de tecnologías son el bajo coste, un amplio ángulo de visión, bajo consumo, alta resolución, dispositivos finos y ligeros, etc.

Una nueva invención en la fabricación de displays es la tinta electrónica o electronic ink (propiedad de E ink) que consiste en millones microcápsulas compuestas de dos pigmentos condistintas cargas y colores, y un fluido transparente que contiene a los pigmentos.

En la fabricación de displays electrónicos E ink, la tinta electrónica es impresa sobre una lámina de película de plástico colocada sobre el circuito que forma los píxeles controlados por un driver. El método de impresión utilizado es screen printing, permitiendo el uso de casi cualquier sustrato como cristal, plástico, tejidos o incluso papel.

## 2.4 Nuevas tecnologías.

En esta sección se van a describir brevemente dos tecnologías destacables en el sector de los dispositivos impresos, que son OLEDs (Organic Light-Emitting Diodes) y TFTCs (Thin Film Transistor Circuits).

La tecnología OLED es actualmente implementada en displays donde el componente/capa emisor/a es orgánico/a, y está en competencia directa con tecnologías establecidas como LCD o pantallas de plasma. Actualmente los métodos de fabricación utilizados son spin coating y PVD, aunque se se están introduciendo nuevos procesos como SM-OLEDs (Small Molecules Organic Light-Emitting Diodes) y PLEDs (Polymer Light-Emitting Diodes). El primero es un método que emplea deposición en vacío, por lo que es costoso y poco flexible. El segundo método aunque en un fase más inicial ofrece ventajas debido a la no utilización de vacío y se puede emplear en su producción técnicas derivadas de procesos de impresión comerciales como son inkjet printing y screen printing. En particular, screen printing posee cualidades de fabricación muy ventajosas como son la simplicidad, velocidad, adaptabilidad, versatilidad de aplicación sobre casi cualquier superficie con precisión, etc.

Respecto a TFTC, decir que es un tipo específico de transistor de efecto de campo construido por deposición de varias capas finas que serían un capa activa semiconductor, una capa dieléctrica y una capa con contactos metálicos. Es posible su fabricación usando técnicas de impresión, como una opción en dispositivos en los cuales los actuales chips de silicio se presentan con frecuencia demasiado costosos o inviables por temas de diseño. Además la impresión de TFTCs podría añadir buenas condiciones a los dispositivos en términos de flexibilidad mecánica y bajo peso.



## **3. TECNOLOGÍA DE IMPRESIÓN SCREEN PRINTING**

### **3.1 Información general.**

Screen printing es una técnica de impresión cuyos inicios se remonta siglos atrás habiendo sido utilizada por diferentes civilizaciones. Su concepto es simple: una plantilla se coloca debajo de una pantalla muy fina a través de la cual pasa la pasta/tinta. Los orificios de la plantilla permiten a la pasta/tinta fluir directamente hasta el sustrato situado debajo de esta.

A medida que avanzaban las tecnologías impresas, se fueron optimizando los sistemas de impresión en screen printing en términos de fiabilidad, estabilidad y rentabilidad para la fabricación de dispositivos en elevados volúmenes y bajo coste.

Screen printing ha sido aplicado satisfactoriamente en componentes de alta tecnología, tales como transpondedores RFID. Y es posible que se convierta en el método más utilizado para la fabricación de etiquetas UHF.

Las ventajas ofrecidas por esta tecnología son varias, y son las causantes de una continua expansión en el mercado actual. Se podría destacar la estabilidad y fiabilidad del proceso, la rentabilidad, el bajo impacto medioambiental debido al no uso de productos químicos agresivos, la flexibilidad en términos de posibles materiales a usar como sustrato, etc.

Otra característica a destacar es el bajo coste implicado en la obtención y mantenimiento de los equipos, sumándole además que no se necesita de una inversión extra para cumplir con las regulaciones medioambientales. Por ejemplo, en comparación con procesos de etching se consigue un ahorro considerable en el tratamiento de residuos.

## 3.2 Componentes y procesos en screen printing.

La tecnología de impresión screen printing se caracteriza fundamentalmente por su simplicidad sobre el resto de tecnologías. Esencialmente en la descripción de un sistema de impresión screen printing se pueden distinguir 4 componentes diferenciados que serían la pantalla, squeegee, pasta/tinta y prensa.

- **La pantalla.**

La pantalla juega un papel importante en el sistema, ya que es el componente que porta la imagen a imprimir. Este componente puede ser a su vez dividido en otros 3 que serían la malla, la plantilla y el marco.

En lo referido a la malla, las formas más extendidas son acero inoxidable y poliéster. Para su elección se seguirá como criterio la tolerancia y el coste (siendo los costes para acero inoxidable un orden de magnitud superior al asociado al poliéster). El proceso de fabricación de ambos tipos de mallas son similares. Es recomendable el uso de mallas de acero inoxidable cuando se vayan a aplicar presiones elevadas, y el uso de poliéster cuando no sea necesaria una gran precisión en las dimensiones del dispositivo a imprimir. Otro beneficio destacable de las mallas en acero inoxidable es que proporcionan una gran área de abertura (porcentaje de área a través de la cual la pasta/tinta puede pasar con respecto al área de hebras). Esto permite la transferencia de una mayor cantidad de tinta en cada impresión, lo cual puede ser relevante en muchas aplicaciones, como por ejemplo en la producción de PCBs donde se requiere una resistencia baja de las pistas. El inconveniente del acero inoxidable es su alto coste y fragilidad. Siendo este último el causante de la deformación de la pantalla durante su uso, debido a bajo porcentaje de elongación. Poliéster suele ser la opción en textiles, y acero inoxidable la tendencia en electrónica y en industria especializada.

Otro elemento fundamental de la pantalla es la plantilla, que es un factor determinante en el grosor de la película de tinta impresa y en la calidad de la impresión. Su función es la de establecer las regiones a través de las cuales la tinta/pasta puede atravesar la pantalla. Se pueden clasificar principalmente en dos categorías, que son emulsiones directas y películas capilares.

El último elemento que compone la pantalla es el marco, que es el encargado de mantener la pantalla perfectamente plana y sin combar. La clasificación de marcos se realiza en función de la rigidez, habiendo marcos rígidos y flexibles.

- **El squeegee.**

El papel del squeegee consiste en aplicar suficiente presión sobre la pantalla para ser acercada a la superficie del sustrato, de manera que se pueda producir la transferencia de tinta/pasta a través de la pantalla.

- **La tinta/pasta.**

La flexibilidad inherente del método screen printing consiste en la habilidad de poder imprimir cualquier tinta/pasta sobre cualquier sustrato. Hay varias opciones a la hora de elegir una tinta para una impresión en screen printing, donde el criterio de selección depende de la aplicación a fabricar. Las tintas/pastas más comunes son solvent-based, water-based y UV. Actualmente la tinta más extendida es la solvent-based debido a su gran durabilidad y resistencia, está surgiendo una tendencia al empleo de tintas UV debido a sus buenas características en velocidad de producción y calidad de impresión. Sin embargo, la desventaja asociada a este tipo de tintas es el alto coste implicado en la adquisición de equipos.

- **La prensa.**

Aunque existe un amplio rango de prensas, se puede reducir a tres grupos genéricos que son prensas planas, prensas de cilindros y prensas rotatorias. Dentro de esta clasificación se puede destacar a las prensas planas como la opción más extendida con un uso del 90% del mercado actual.

## 4. EXPERIMENTO DE LINEAS IMPRESAS EN PLATA

### 4.1 Información general.

En muchas ocasiones el comportamiento de un componente impreso depende de la deposición, con éxito, de líneas. En donde la película de tinta es usada para conducir la electricidad cualquier modificación de su altura, anchura o sección transversal producirá variaciones en su resistencia, y como consiguiente, en su rendimiento.

A la hora de cumplir ciertos requisitos en el diseño del dispositivo impreso, tales como valores aproximados para la anchura o la sección transversal, es fundamental tener muy presentes varios parámetros de la técnica de impresión a usar. Dichos parámetros pueden afectar en gran medida al rendimiento final dispositivo. Las muestras de las líneas impresas empleadas (Figura 1) en este experimento se obtuvieron mediante screen printing y los parámetros en estudio son básicamente tres, la velocidad de impresión, la composición de la tinta y el tipo de material que compone la malla.

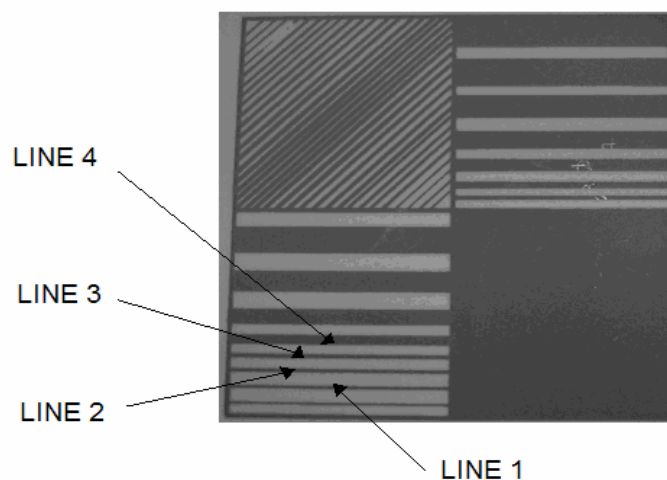


Figura 1. Líneas impresas en platas en estudio.

## 4.2 Procedimientos del experimento.

### 4.2.1 Características físicas de las líneas impresas.

#### 4.2.1.1 Obtención de las características físicas.

La base de este experimento es intentar encontrar una posible relación entre algunos de los parámetros que caracteriza al método screen printing y las características físicas y electricas de unas líneas impresas usando dicha tecnología. En primer lugar es conveniente definir cuales son los parámetros de screen printing en estudio y sus posibles variantes. A continuación se presentan dichos parámetros con sus respectivas variantes.

- Velocidad de impresión:      BAJA                      ALTA
- Material de la malla:            POLIESTER            ACERO INOXIDABLE
- Composición de la tinta:      74%                      75%                      76%      (\*)

(\*) Este parámetro mide concentración de plata en tinta.

El primer paso hacia la obtención de las características físicas de las líneas es la elección y uso de equipos con capacidad de adquisición y procesado de imágenes. En este experimento el equipo seleccionado es una estación con un interferómetro de luz blanca, y un software de adquisición de imágenes llamado WYKO Vision32 cuyo fabricante es Veeco.

Una vez que se configura la estación convenientemente para la obtención de imágenes 2D, se captura la imagen para un posterior procesado y adaptación a un formato adecuado para su estudio. Básicamente el procesado realizará una ponderación de las alturas de las líneas debido a que el formato original es adimensional. En un paso posterior, se obtendrán las dimensiones de las líneas para poder proceder a su análisis.

### **4.2.1.2 Descripción del procesado de las líneas.**

En primer lugar, es necesario importar el archivo de extensión .opd, obtenido con el software WYKO32 y que contiene la imagen a ser procesada, a otro programa que sea capaz de convertir la imagen a datos numéricos con los que poder realizar el estudio. La elección es utilizar EXCEL como medio de evaluar los datos. Sólo existe un problema a resolver cuando se importa el archivo y es la cantidad de información contenida en la imagen. Dicha información es excesiva para incluirla en una hoja de cálculo de EXCEL, por ello se debe proceder a la reducción de la información asociada a la imagen, sin detrimento alguno del estudio a realizar. La forma de solucionar este inconveniente es definir una subregion representativa de la línea a estudiar, y asociarle la mitad de resolución. En ningún caso la reducción de la información en la imagen adquirida afectará los resultados de este experimento, ya que serán suficientemente representativos.

Una vez que se ha asociado la mitad de resolución a la imagen, ésta se salva como archivo ASCII dataset. Cuando se procede a la apertura de este archivo con EXCEL, el asistente para la importación de texto aparecerá, entonces se selecciona datos delimitados. Se presiona siguiente y se selecciona tabulación y coma Finalmente se cliquee en finish, y los datos asociados a la imagen aparecerán.

Los datos obtenidos serán datos previos al procesado, así que el siguiente paso será procesar dichos datos con un macro creado en el editor de visual basic incorporado en EXCEL. El código es mostrado en la sección siguiente.

### 4.2.1.3 Código para el procesado de las líneas impresas.

En esta sección se presenta el código empleado para el procesado de los datos numéricos asociados a la líneas impresas.

```

Sub parameter()

' parameter Macro
' Macro recorded 01/05/05 by Carlos

Dim i As Integer, j As Integer
Dim maximo As Integer
' *** Maximo will store the position of the maximum
Dim nx As Integer, Ny As Integer
Dim PixSize
Dim WaveLength
Dim n, n1, n2

Dim ZeroLev
Dim SumZero(500)

Dim sum(500) ' this is the sum of csa ***
Dim Maxheight(500)

n1 = InputBox("Enter number of first sheet to be analysed ,e.g 1 for sheet1", "First sheet")
n2 = InputBox("Enter number of last sheet to be analysed ,e.g 3 for sheet3", "First sheet")

If n2 < n1 Then Exit Sub

If n1 <= 0 Then Exit Sub

For n = n1 To n2 ' *** Change these values for each sheet
    Sheets(n).Activate

    ' ** get details ***
    nx = ActiveSheet.Cells(2, 2)
    Ny = ActiveSheet.Cells(3, 2)
    PixSize = ActiveSheet.Cells(7, 4) * 1000
    WaveLength = ActiveSheet.Cells(8, 4)

    ' *** calculate zero level from average of first 8 ***
    ' *** reset sums ***
    For j = 1 To 500
        SumZero(j) = 0
    
```

```

sum(j) = 0
Maxheight(j) = 0
Next

' *** Due to the obtaining of "Bad" values when acquiring
' *** the WYKO output following loop is implemented, changing
' *** the "Bad" value for the adjoining value

Dim m As Integer
Dim goback As Boolean

goback = False

m = 0
For j = 1 To nx
  For i = 1 To Ny
    If ActiveSheet.Cells(j + 12, i) = "Bad" Then
      Do Until ActiveSheet.Cells(j + 12, i + m) <> "Bad"

        If i + m = Ny Or goback = True Then
          m = m - 1
          goback = True
        End If

        If i + m < Ny And goback = False Then
          m = m + 1
        End If

      Loop
      goback = False
      ActiveSheet.Cells(j + 12, i) = ActiveSheet.Cells(j + 12, i + m)
      m = 0
    End If
  Next
Next

' **** loop through and work out average substrate level ****
For j = 1 To nx
  For i = 1 To 10 ' ** First 10 are the substrates **8
    SumZero(j) = SumZero(j) + ActiveSheet.Cells(j + 12, i)
  Next
  ' ** calc average **
  SumZero(j) = SumZero(j) / 10
  ' *** add average to zerolev **
  ZeroLev = ZeroLev + SumZero(j)
Next
' *** work out average
ZeroLev = ZeroLev / nx

' *** Takes things to zero ***
For j = 1 To nx

```



```

For i = 1 To Ny
  If ActiveSheet.Cells(1, 5) <> "DONE" Then
    ' Take out reference substrate ****
    ActiveSheet.Cells(j + 12, i) = ActiveSheet.Cells(j + 12, i) - ZeroLev
    ' **** Take out zero values ****
    If ActiveSheet.Cells(j + 12, i) < 0 Then ActiveSheet.Cells(j + 12, i) = 0
    ActiveSheet.Cells(j + 12, i) = ActiveSheet.Cells(j + 12, i) *
    WaveLength / 1000

    ' **** Record maximum height ****
  End If
  If ActiveSheet.Cells(j + 12, i) > Maxheight(j) Then
    Maxheight(j) = ActiveSheet.Cells(j + 12, i)
    maximo = i
  End If
Next
Next

' *** Find width of line ****
Dim LineStart, LineEnd
Dim Startfound As Boolean, Endfound As Boolean
Dim k As Integer
Dim ave, Foundval
Dim NextCell, zerocell As Boolean

For j = 13 To nx + 12
  Startfound = False
  Endfound = False
  i = 1

  ' *** Find beginning of line ****
  Do Until i >= Ny Or Startfound = True

    If ActiveSheet.Cells(j, i) > 0 Then
      Foundval = ActiveSheet.Cells(j, i)
      ' *** Check average over 10 next ***
      For k = i To i + 10
        zerocell = False
        NextCell = ActiveSheet.Cells(j, k)
        If NextCell = 0 Then
          zerocell = True
          Exit For
        End If
        ave = ave + NextCell
      Next

      ave = ave / 10

      ' average of next 10 greater than current value
      If zerocell = False And ave >= Foundval Then
        LineStart = i

```

```

        Startfound = True
    End If
End If
i = i + 1
Loop

' *** Find end of line
i = maximo
Do Until i >= Ny Or Endfound = True
    If ActiveSheet.Cells(j, i) > 0 Then
        ' *** only true if next values are small ***
        ave = ActiveSheet.Cells(j, i + 1) + ActiveSheet.Cells(j, i + 2) +
            ActiveSheet.Cells(j, i + 3)
        ave = ave / 3

        If ave < 1 Then ' next three are very small values then end = true
            LineEnd = i
            Endfound = True
        End If
    End If

    i = i + 1
Loop
ActiveSheet.Cells(j, Ny + 4) = LineStart
ActiveSheet.Cells(j, Ny + 5) = LineEnd
ActiveSheet.Cells(j, Ny + 6) = (LineEnd - LineStart) * PixSize
Next

' *** Perform simpson rule ****
Dim area
Dim H1, H2

For j = 1 To nx
    LineStart = ActiveSheet.Cells(j + 12, Ny + 4)
    LineEnd = ActiveSheet.Cells(j + 12, Ny + 5)
    sum(j) = 0
    For i = LineStart To LineEnd - 1
        ' *** Get height of both sides of trapesium
        H1 = ActiveSheet.Cells(j + 12, i)
        H2 = ActiveSheet.Cells(j + 12, i + 1)
        area = PixSize * (H1 + H2) / 2
        sum(j) = sum(j) + area
    Next
Next

' *** output integral and height to right of info ***
ActiveSheet.Cells(j + 12, Ny + 2) = sum(j)
ActiveSheet.Cells(j + 12, Ny + 3) = Maxheight(j)
Next

```

## 4.2.2 Resistencia de las líneas impresas.

### 4.2.2.1 Proceso de obtención de la resistencia.

Como punto de partida es necesario seleccionar un equipo adecuado para llevar a cabo las medidas de resistencia de las líneas impresas, donde la elección es una sonda de cuatro puntas con su respectivo software asociado para la adquisición de datos. Un esquema general del sistema es mostrado en la figura 2.

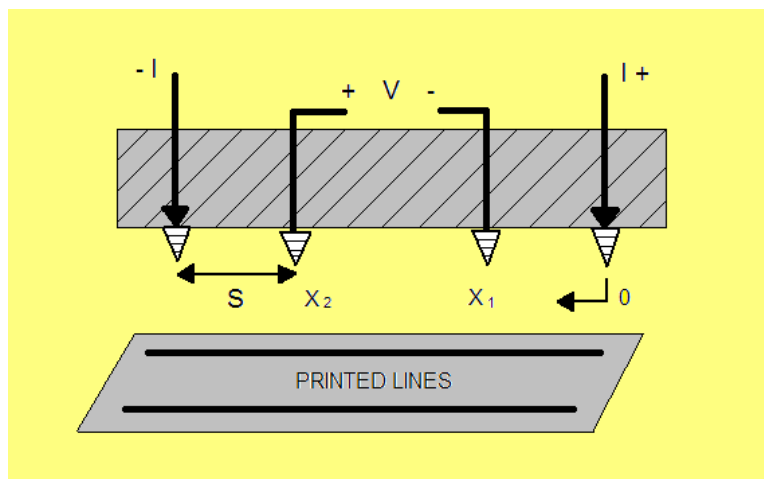


Figura 2. Esquema genérico de una sonda de 4 puntas.

Básicamente el sistema se compone de cuatro sondas situadas dos a dos, donde las dos más externas proporcionan la corriente con alta impedancia (para hacer la corriente independiente del dispositivo a medir) una y las dos más internas calculan la caída de tensión entre sus extremos ( $X_1$  y  $X_2$ ) que ocurre en la línea bajo test. Una vez conocidos el voltaje y la corriente, se procede al cálculo de la resistencia entre los puntos  $X_2$  y  $X_1$ . La distancia típica  $S$ , de separación de sondas, es de 1 mm. En este experimento la distancia entre sondas establecida para obtener el valor de las resistencias en cada una de las muestras impresas fue establecida a 20.5 mm.

### **4.3 Conclusiones del experimento.**

En las secciones previas de este estudio se llevó a cabo la adquisición de las dimensiones de las líneas impresas, y sus respectivas resistencias. En el caso de las características físicas de las líneas, se utilizó un interferómetro de luz blanca y un posterior procesado de la información para conseguir la sección transversal, la altura máxima y la anchura ofreciéndose media y desviación típica. En el caso de las características eléctricas, se empleó una sonda de cuatro puntas para caracterizar la resistencias de cada una de las líneas.

Una vez obtenida toda la información, ésta será agrupada en un formato más compacto. En el caso de la adquisición de las dimensiones de las líneas, se adquirieron 6 medidas para cada configuración de los parámetros de screen printing. Eso es debido a la existencia de 3 muestras para cada configuración de parámetros, y además se realizaron medidas en ambos extremos de cada una de las muestras, para darle mayor valor al experimento al calcularse las mediciones en puntos alejados.

En el caso de la obtención de las resistencias, se realizó una medición por configuración, es decir, se obtuvieron tres medidas por configuración de parámetros de screen printing. Estos valores serán agrupados calculando su media y desviación típica, para posteriormente llevar a cabo una comparativa de cada una de las configuraciones.

Un punto a destacar es la precisión de los resultados, aunque se han intentado obtener medidas representativas de las líneas impresas, pueden existir valores imprecisos debido a que la lente del interferómetro no cubre la línea al completo si no una región de ésta. Por ello este experimento debe ser tomado como una guía informativa y no como una regla estricta de diseño de dispositivos impresos. A continuación se encuentra la información tabulada por líneas.

- Línea impresa 1.

Mesh	Printing Speed	Cross-sectional Area ( $\mu\text{m}^2$ )		Maximum Height ( $\mu\text{m}$ )		Width ( $\mu\text{m}$ )		Resistance ( $\Omega$ )		Conductivity (S/cm)	
		Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation
<b>74%</b>											
Stainless	High	1796.18	202.08	11.11	1.15	269.41	32.50	16.3094	0.9771	7021.13	483.42
Stainless	Low	1518.18	202.46	9.88	1.15	250.94	28.56	19.0656	2.5184	7194.04	480.84
Polyester	High	2008.32	315.98	10.46	1.58	338.52	39.84	17.0614	1.0167	6040.56	487.15
Polyester	Low	1871.76	268.79	10.41	1.69	334.74	41.85	17.7814	0.6084	6422.84	680.49
<b>75%</b>											
Stainless	High	1986.66	234.33	11.40	1.13	288.50	36.68	13.3599	1.5213	7805.90	1068.18
Stainless	Low	1807.58	206.65	10.61	0.92	288.09	42.78	13.8284	0.3919	8302.11	1170.76
Polyester	High	2481.84	304.26	12.93	1.52	373.82	34.76	12.3630	1.0769	6734.23	764.22
Polyester	Low	1878.21	227.94	9.95	1.45	344.77	41.19	13.6202	0.8176	8041.32	511.90
<b>76%</b>											
Stainless	High	2403.33	198.39	12.92	1.28	311.02	36.93	7.5508	0.6139	11335.34	534.26
Stainless	Low	2066.20	172.19	12.27	1.17	272.71	27.71	8.5537	0.5582	11757.26	1455.67
Polyester	High	2329.71	239.29	11.27	1.03	342.92	83.75	7.9679	0.1231	11064.04	643.44
Polyester	Low	2169.97	170.22	11.03	0.84	330.74	34.43	8.4106	0.4194	11344.08	1422.10

Tabla 1. Resumen de todas las características de la línea impresa 1 con datos ponderados.

- Línea impresa 2.

Mesh	Printing Speed	Cross-sectional Area ( $\mu\text{m}^2$ )		Maximum Height ( $\mu\text{m}$ )		Width ( $\mu\text{m}$ )		Resistance ( $\Omega$ )		Conductivity (S/cm)	
		Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation
74%											
Stainless	High	3013.30	235.07	13.90	1.38	362.36	41.23	11.2305	1.3533	6148.31	571.86
Stainless	Low	2826.64	224.49	13.59	1.32	352.92	41.54	11.4961	0.5040	6331.91	544.09
Polyester	High	2721.64	261.29	11.45	1.26	430.12	47.94	11.8799	0.5447	6356.28	443.33
Polyester	Low	2283.53	300.26	10.45	1.44	406.33	50.92	14.0648	0.6206	6408.43	303.04
75%											
Stainless	High	2932.97	291.71	13.60	1.36	352.19	35.02	7.4029	0.5185	9465.89	198.02
Stainless	Low	3006.39	330.49	13.63	1.35	367.86	42.56	9.0236	0.2481	7599.53	767.44
Polyester	High	2556.77	256.58	10.89	1.43	425.61	39.58	9.0384	0.2983	8880.24	305.53
Polyester	Low	2545.27	274.80	10.98	1.28	418.26	44.32	11.1856	0.5810	7295.61	998.81
76%											
Stainless	High	3172.35	171.92	14.58	1.00	351.11	28.10	5.9462	0.8378	11037.39	1730.20
Stainless	Low	2854.43	165.53	13.26	0.86	340.40	31.83	5.8291	0.2676	12357.07	458.16
Polyester	High	3107.25	183.15	13.09	1.00	391.92	35.64	6.1975	0.1000	10662.30	536.22
Polyester	Low	2866.28	171.65	14.66	0.90	380.53	32.13	6.6968	0.0391	10688.48	344.10

Tabla 2. Resumen de todas las características de la línea impresa 2 con datos ponderados.

- Línea impresa 3.

Mesh	Printing Speed	Cross-sectional Area ( $\mu\text{m}^2$ )		Maximum Height ( $\mu\text{m}$ )		Width ( $\mu\text{m}$ )		Resistance ( $\Omega$ )		Conductivity (S/cm)	
		Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation
74%											
Stainless	High	4416.93	310.10	16.57	1.88	464.83	41.02	9.3519	0.6963	4979.35	245.75
Stainless	Low	3812.77	272.50	14.69	1.41	433.98	38.10	9.6245	0.0501	5595.84	272.83
Polyester	High	3398.63	339.47	12.55	1.24	473.60	46.16	10.1693	0.2693	5939.52	308.99
Polyester	Low	2835.14	319.23	11.18	1.34	446.20	41.51	10.5544	0.7302	6889.85	634.87
75%											
Stainless	High	3957.96	274.99	15.19	1.49	440.98	37.67	7.3004	0.3762	7107.28	365.73
Stainless	Low	4091.10	321.45	15.20	1.38	442.46	34.39	7.7072	0.1621	6503.31	123.37
Polyester	High	3546.07	310.20	12.91	1.51	485.61	69.48	7.4309	0.1719	7793.08	368.22
Polyester	Low	3239.39	282.27	12.04	1.29	483.76	40.97	8.4264	0.4666	7590.79	699.04
76%											
Stainless	High	4604.02	195.41	16.44	0.82	439.57	30.86	3.6848	0.3538	12212.96	1675.05
Stainless	Low	4232.73	212.59	15.82	0.98	422.92	29.88	4.1247	0.2135	11839.93	1538.11
Polyester	High	3597.72	238.93	13.53	0.98	431.47	32.45	4.4796	0.1104	12744.18	510.94
Polyester	Low	3167.32	334.47	12.75	1.10	414.48	42.59	5.5927	0.2939	11608.62	320.85

Tabla 3. Resumen de todas las características de la línea impresa 3 con datos ponderados.

- Línea impresa 4.

Mesh Material	Printing Speed	Cross-sectional Area ( $\mu\text{m}^2$ )		Maximum Height ( $\mu\text{m}$ )		Width ( $\mu\text{m}$ )		Resistance ( $\Omega$ )		Conductivity (S/cm)	
		Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation
74%											
Stainless	High	8662.32	603.21	15.10	2.19	898.12	42.97	3.1412	0.5147	7642.43	826.73
Stainless	Low	8593.43	399.53	15.30	1.17	937.89	41.70	2.7567	0.0392	8658.79	194.50
Polyester	High	8462.60	570.98	14.34	134	998.95	62.72	3.5486	0.1622	6859.14	516.09
Polyester	Low	7123.12	345.40	12.99	1.50	1021.62	44.13	3.8451	0.4196	7574.37	1148.99
75%											
Stainless	High	9821.64	325.53	16.96	1.26	980.29	37.29	2.2711	0.1206	9210.61	403.93
Stainless	Low	9023.74	385.11	15.35	1.27	984.62	41.83	2.2640	0.1031	9866.43	172.96
Polyester	High	8295.36	386.49	13.11	1.15	1062.89	44.88	2.7604	0.0027	8970.99	507.36
Polyester	Low	7563.21	450.51	11.91	1.05	1063.95	50.86	3.1305	0.1217	8668.23	203.31
76%											
Stainless	High	13400.53	541.72	20.38	1.12	1017.54	42.56	1.1751	0.1115	13082.74	957.47
Stainless	Low	12825.48	420.56	19.06	0.99	1035.46	51.55	1.3734	0.0861	11699.00	1163.00
Polyester	High	10151.95	506.81	14.92	1.05	1057.17	57.51	1.6468	0.0090	12274.60	449.01
Polyester	Low	9320.07	497.56	14.51	1.21	1027.87	51.46	2.2225	0.6680	10339.25	2035.61

Tabla 4. Resumen de todas las características de la línea impresa 4 con datos ponderados.



Una vez procedido el análisis de la información listada en las tablas 1, 2, 3 y 4 se obtuvo los siguientes resultados a la hora de implementar líneas finas impresas (fine printed lines) en alguna aplicación potencial.

- **Sección transversal.**

La sección transversal debe ser minimizada para la impresión de líneas finas, y esto es conseguido seleccionando concentración de plata en tinta del 74%, malla de acero inoxidable y baja velocidad de impresión.

- **Resistencia.**

Su valor tenderá a ser minimizado para conseguir el mínimo consumo posible en la aplicación a fabricar con líneas finas impresas, para ello los valores apropiados para los parámetros de screen printing son concentración de plata en tinta del 76%, malla de poliéster y alta velocidad de impresión. Solución directamente relacionada con la maximización de la sección transversal, ya que este parámetro y la resistencia son inversamente proporcionales. Por lo tanto, se debe establecer una relación de compromiso entre las dimensiones de las líneas y su rendimiento. Se debe tener en cuenta además el encarecimiento de los dispositivos impresos al usar mayores concentraciones de plata en la tinta, al buscar una reducción en la resistencias de las líneas.

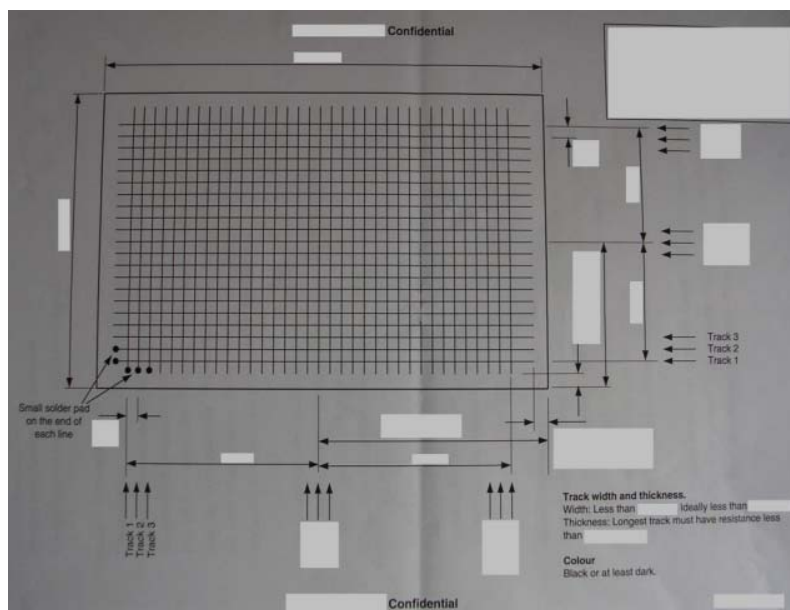
- **Anchura y forma de las líneas impresas.**

Cuando se busque la implementación de líneas finas se deberá minimizar la anchura de las líneas, siendo esto obtenido con baja velocidad de impresión, una concentración de plata en tinta de 74% ó 76%, y una malla de acero inoxidable.

Respecto a los perfiles de las líneas, algo a destacar es la variación del valor de la conductividad para la misma configuración de parámetros de screen printing, este hecho es debido a la rugosidad de las líneas lo cual provoca que los perfiles de las líneas no sean constantes. La configuración que provoca una altura media de línea mayor (perfil de línea mejor definido) es una malla de acero inoxidable, alta velocidad de impresión, y altas concentraciones en plata.

## 5. IMPLEMENTACION DE UN DISPOSITIVO

Los resultados presentados previamente fueron utilizados por el departamento de Printing and Coating de la universidad de Gales Swansea, a la hora de afrontar el estudio de viabilidad del desarrollo de una aplicación que contenía líneas impresas. Debido a la confidencialidad del proyecto no se pueden aportar datos específicos o parámetros de diseño, aunque en la figura 3 se muestra un esquema general para dar cierta idea al lector.



**Figure 3. Esquema general de diseño del proyecto.**

Una vez analizados los requisitos y restricciones de diseño propuestos y comparándolos con los resultados del experimento descrito en la sección cuatro de este documento, se llegó a la conclusión de la imposibilidad/inviabilidad de la ejecución con éxito del proyecto. Básicamente los requisitos exigidos para las dimensiones físicas de las líneas a imprimir y sus características eléctricas eran demasiado estrictos para que la fabricación fuese factible.

## 6. CONCLUSIONES FINALES

En este proyecto se ha introducido y evaluado el método de impresión screen printing como una opción para la fabricación de dispositivos electrónicos. Así pues, dicho método posee buenas condiciones para abrirse un hueco en el mercado actual. Características a destacar serían el bajo coste de compra y mantenimiento de equipos, la velocidad de producción, la versatilidad de producir dispositivos tales como baterías finas, displays flexibles, componentes de RFIDs, etc. Además su producción cumple con las normativas de medio ambiente sin necesidad de realizar ninguna inversión adicional. En aplicaciones donde la rigidez de los chips de silicio son un problema, podría ser una opción a considerar.

Este informe se centra en la obtención de líneas impresas de óptimas dimensiones. En el momento de fabricar líneas finas (línea impresa 1 en este experimento) ciertos requisitos deben ser cumplidos como una adecuada altura media de línea para obtener resistencias de bajo valor, una anchura minimizada y superficie plana ausente de poros (proporciona un buen funcionamiento al diseñar dispositivos multicapa como OLEDs). Una solución adecuada es utilizar una malla de acero inoxidable para proporcionar una buena altura media de línea. Además estas mallas se caracterizan por generar anchuras menores de línea y superficies más lisas que las mallas de poliéster. La selección de la velocidad de impresión implica una relación de compromiso entre las dimensiones de la línea y su resistencia asociada, ya que velocidad alta produce mayores anchuras y alturas de línea que velocidad baja, lo cual es conveniente para la resistencia pero al buscar líneas finas el tamaño de línea no se debería aumentar en extremo. El otro parámetro en juego, la concentración de plata en las líneas, al ser maximizado ofrece buenas características al reducir la resistencia, aunque en detrimento de las dimensiones de línea, y el encarecimiento del dispositivo a fabricar.

Por lo tanto, la selección de los parámetros de screen printing es algo a tener muy en cuenta a la hora del diseño de un dispositivo electrónico impreso ya que su funcionamiento y precio vendrán determinados por dichos parámetros.

## 7. REFERENCIAS

1. <http://www.graphicsolutionsinc.com/thinflexiblebattery.htm>  
Proporciona información sobre las baterías finas y flexibles usando la tecnología screen printing.
2. [www.microlise.com](http://www.microlise.com)  
Proporciona información sobre la tecnología en RFID.
3. <http://216.122.210.132/tech/tech.htm>  
Proporciona información sobre displays de emisión de campo de Pixtech.
4. <http://eink.com>  
Proporciona información sobre papel electrónico.
5. <http://www.imaps.org/advancingmicro.html>  
Ediciones en electrónica impresa que proporciona información acerca de los parámetros principales de los procesos de impresión y además de las tintas funcionales usadas en dispositivos electrónicos.
6. <http://www.idtechex.com/>  
Ofrece una documentación variada en electrónica impresa en campos como sistemas RFID, TFTCs, etc.
7. [www.onboard-technology.com](http://www.onboard-technology.com)  
Ediciones de electrónica que proporciona información del método screen printing aplicado a diversos dispositivos electrónicos como RFIDs, baterías flexibles, sensores, etc.
8. <http://microlab.berkeley.edu/labmanual/chap8/8.13.html>  
Proporciona un manual para un interferómetro de luz blanca de WYKO system.
9. [http://microlab.berkeley.edu/ee143/Four-Point\\_Probe/](http://microlab.berkeley.edu/ee143/Four-Point_Probe/)  
Proporciona información acerca de la composición y funcionamiento de una sonda de cuatro puntas.

**10. Chapter 5: Screen Printing.**

Proporciona información general del método de impresión screen printing.

Este capítulo pertenece a la asignatura de "Printing technologies" impartida por el departamento de Printing and coating de la universidad de Gales Swansea.

**11. <http://www.metricstech.com/ics/ics.shtml>.**

Proporciona una descripción general de una unidad ICS empleada en la medida de resistencias.

## 8. LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Líneas impresas en platas en estudio.....	12
Figura 2. Esquema genérico de una sonda de 4 puntas.....	19
Tabla 1. Resumen de todas las características de la línea impresa 1 con datos ponderados.....	21
Tabla 2. Resumen de todas las características de la línea impresa 2 con datos ponderados.....	22
Tabla 3. Resumen de todas las características de la línea impresa 3 con datos ponderados.....	23
Tabla 4. Resumen de todas las características de la línea impresa 4 con datos ponderados.....	24
Figure 3. Esquema general de diseño del proyecto.....	26