Electrónica Flexible Impresa

Joaquin Castán· Ingeniería/ Dir. Tecnologías

jcastan@aimplas.es · 25 Marzo 2026

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Contexto

- Curso formativo de nivel introductorio-intermedio
- Enfocado a personal:
  - Técnico
  - Ingenieros
  - Docente

Objetivo

- Adquirir conocimentos que puedan ser transmitidos a personal que se está iniciando en la electrónica impresa
- Iniciar sus propias impresiones en electrónica impresa y avanzar en la mejora de las mismas, comprendiendo el papel de los materiales, los procesos y las variables clave que influyen en el resultado final.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Alcance

- Conceptos fundamentales de la electrónica impresa y flexible
- Materiales empleados (sustratos y tintas funcionales) y criterios de selección
- Procesos de impresión aplicables a la electrónica impresa
- Serigrafía aplicada a electrónica impresa, tratada en detalle
- Recomendaciones básicas de diseño para dispositivos impresos
- Identificación de variables de proceso que influyen en la calidad del resultado

Límites

- Diseño electrónico avanzado
- Simulación eléctrica o multifísica
- Certificación, normativa o validación reglamentaria

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Modulo I

Electrónica impresa y su aparición

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Objetivos

- Introducir los fundamentos de la electrónica impresa
- Establecer un lenguaje común para el resto del curso





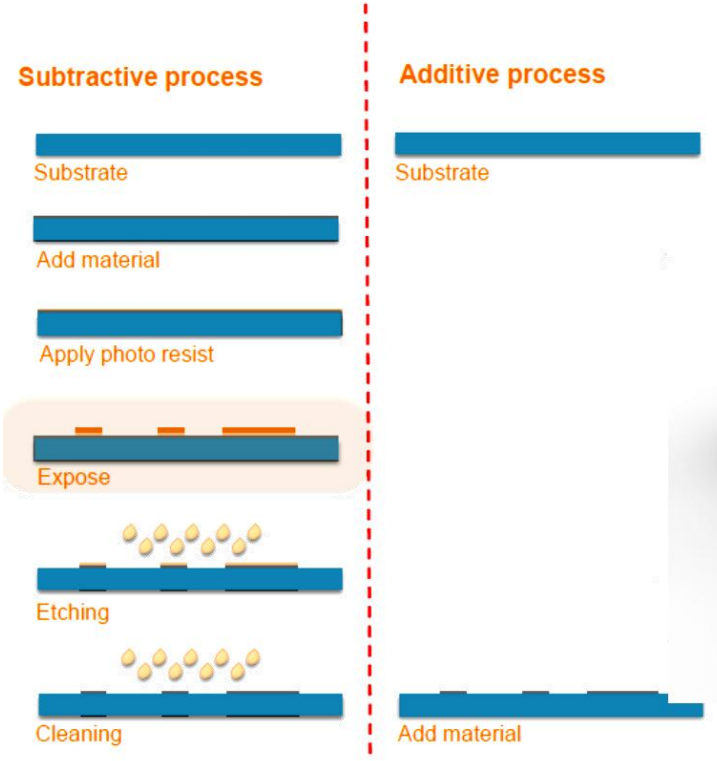
Fuente: Vtt.com

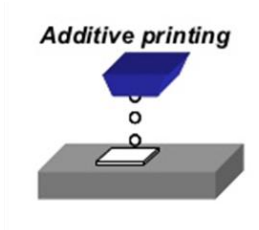
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Conceptos básicos

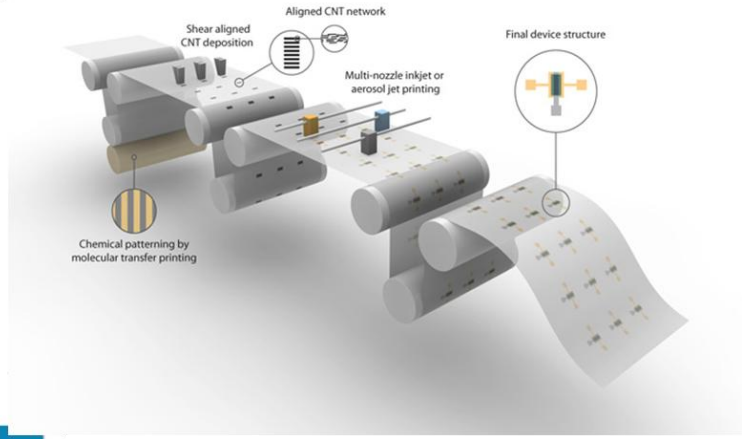
- La impresión no es dibujar . Es depositar sobre un sustrato

- Proceso aditivo. Se deposita:
  - Lo que necesito
  - Donde lo necesito
  - Como lo necesito





Deposición y estructuración del material en un único paso.



Fuente: Printed Electronics Processing Concept (Grant Illustration)
From Dr. C. Daniel Frisbie at the University of Minnesota.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Conceptos básicos

- La electronica impresa requiere de materiales funcionales ≠ gráficas
- Materiales funcionales:
  - Conductores
  - Resistivos
  - Dieléctricos
  - Activos



La función depende tanto de la **formulación** como del **procesado**

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

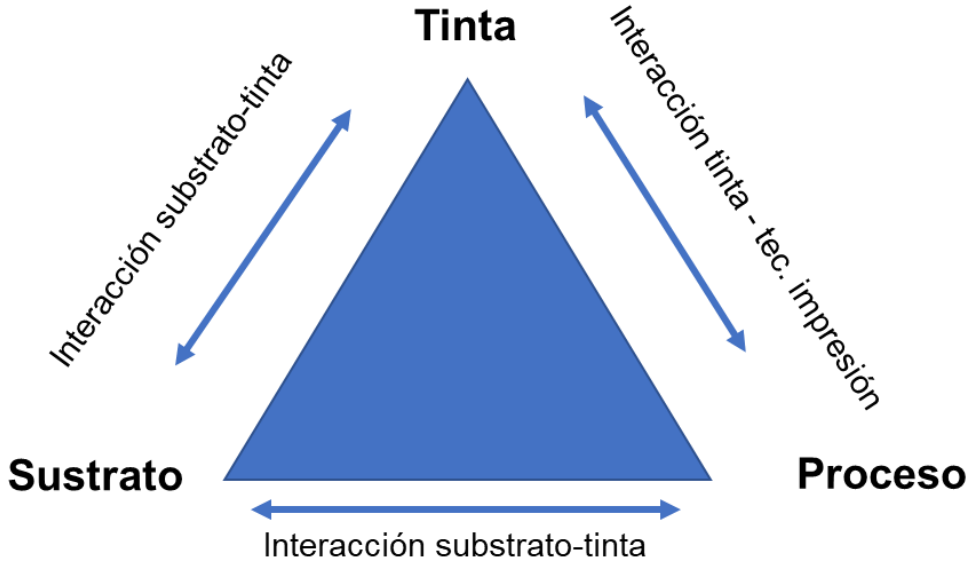
Conceptos básicos

- Existe una importante Relación proceso–material–diseño

No se puede separar:

- El proceso de impresión
- El material utilizado
- El diseño del patrón

Cambiar uno implica adaptar los otros



La calidad del resultado impreso no depende solo del material, sino del control del proceso.
El diseño debe adaptarse al proceso, no al revés

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Conceptos básicos

- Existen limitaciones por proceso

Cada técnica de impresión tiene límites:

- Ancho mínimo de pista
- Separación mínima
- Espesor de capa



Estos límites condicionan la funcionalidad final.

No todo lo que se puede diseñar se puede imprimir.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Conceptos básicos

- Se debe tener un importante control del proceso

La funcionalidad depende del control de variables

- Presión,
- Velocidad,
- Temperatura
- Curado y secado

Pequeñas variaciones pueden provocar grandes cambios eléctricos..



El proceso es tan importante como el diseño.

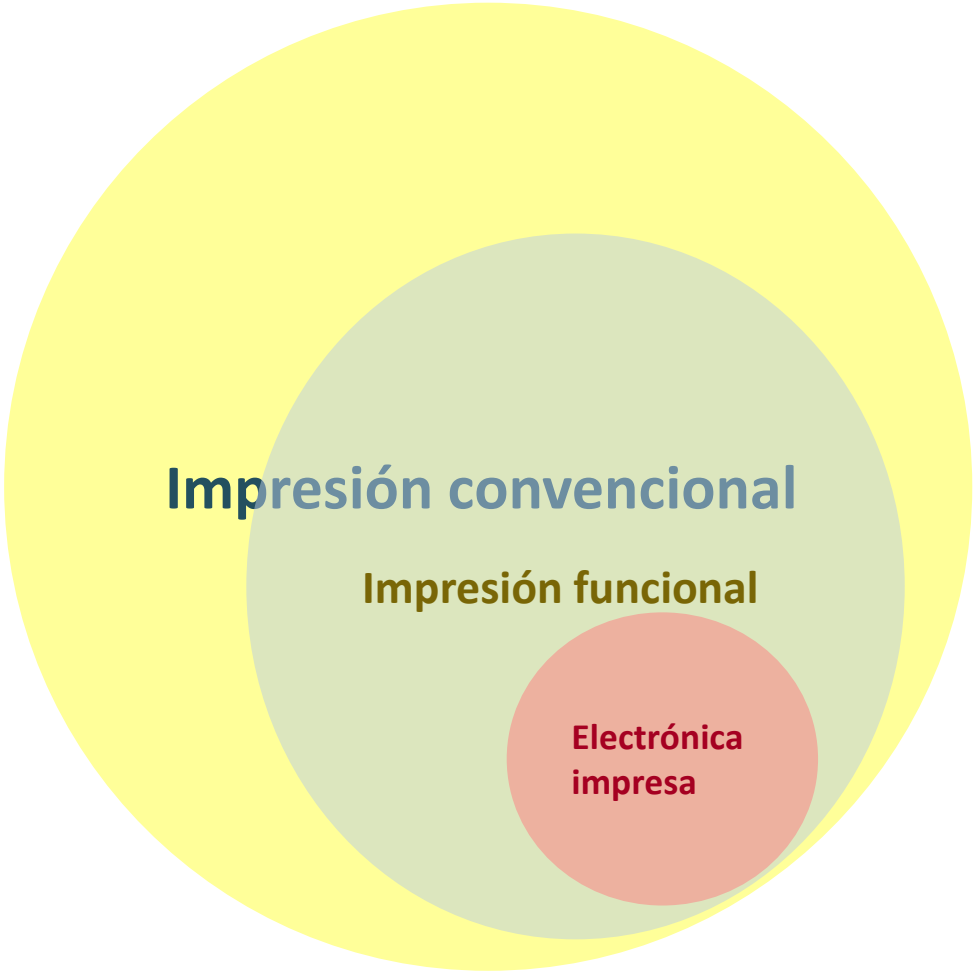
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Que es la electronica impresa



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Que es la electrónica impresa









This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

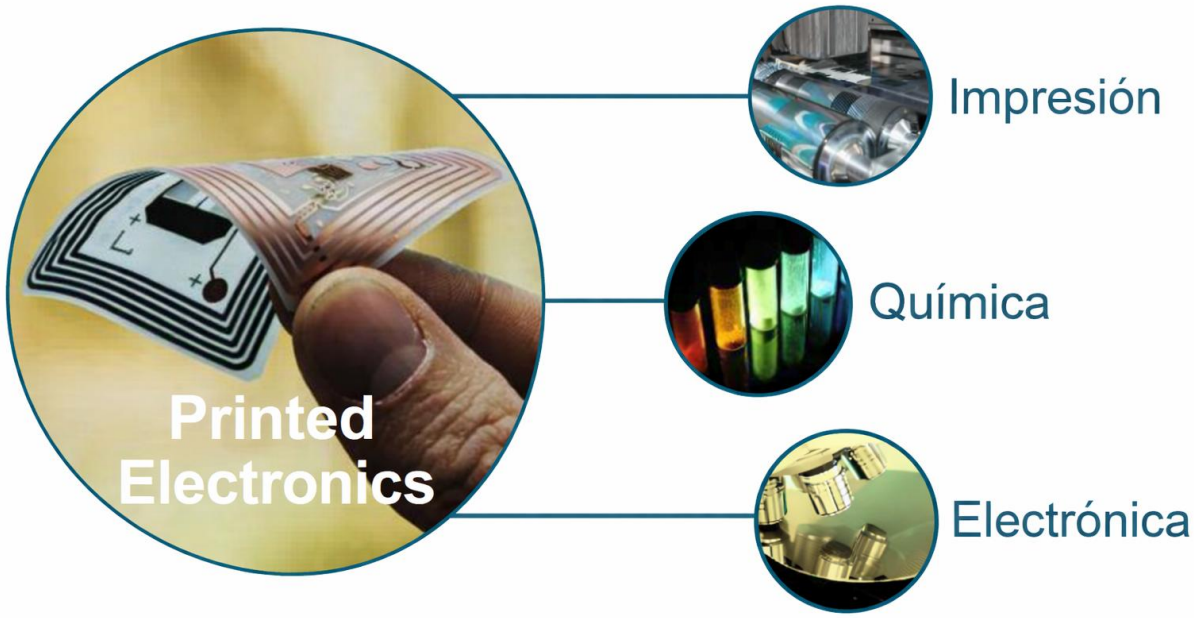
Que es la electronica impresa



Fuente: Printedelectronicsnow.com

Uso de **tecnologías de impresión tradicionales**

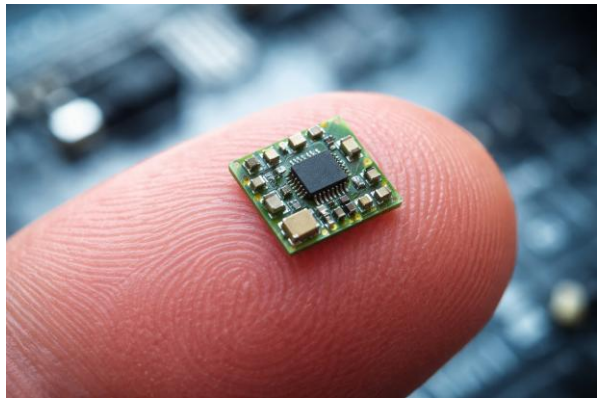
Obtención de dispositivos electrónicos



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Que NO es la electronica impresa

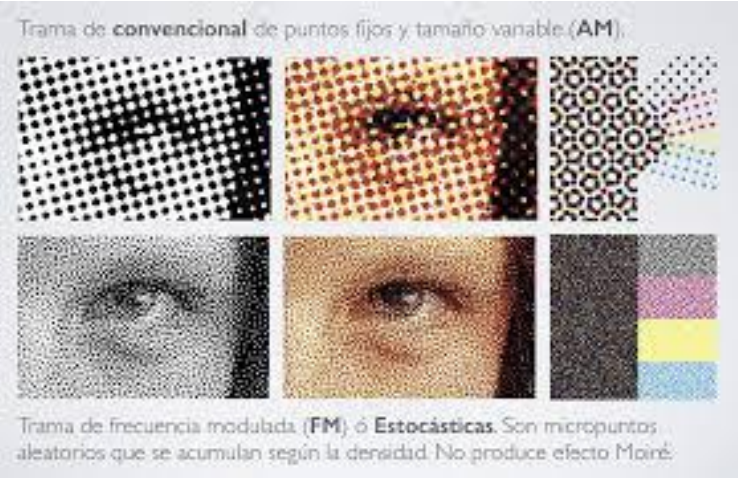
- No es electrónica convencional miniaturizada
- No sustituye a la electrónica tradicional
- No se limita únicamente a sensores





This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Impresión convencional vs electronica impresa



Puntos de trama CMYK forma imágenes impresos. Fuente: TASk.bcn



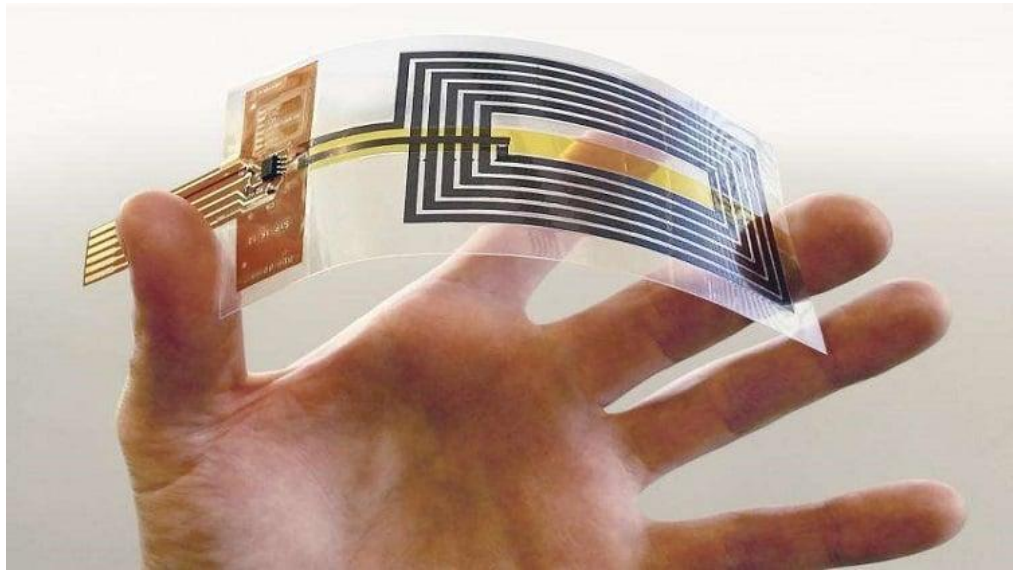
Qué se imprime:
- Tintas CMYK
- Información visual (imagen)

Cómo funciona:
- Variación de tamaño / densidad de punto
- Mezcla óptica de color

Objetivo:
Reproducir imágenes

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Impresión convencional vs electronica impresa



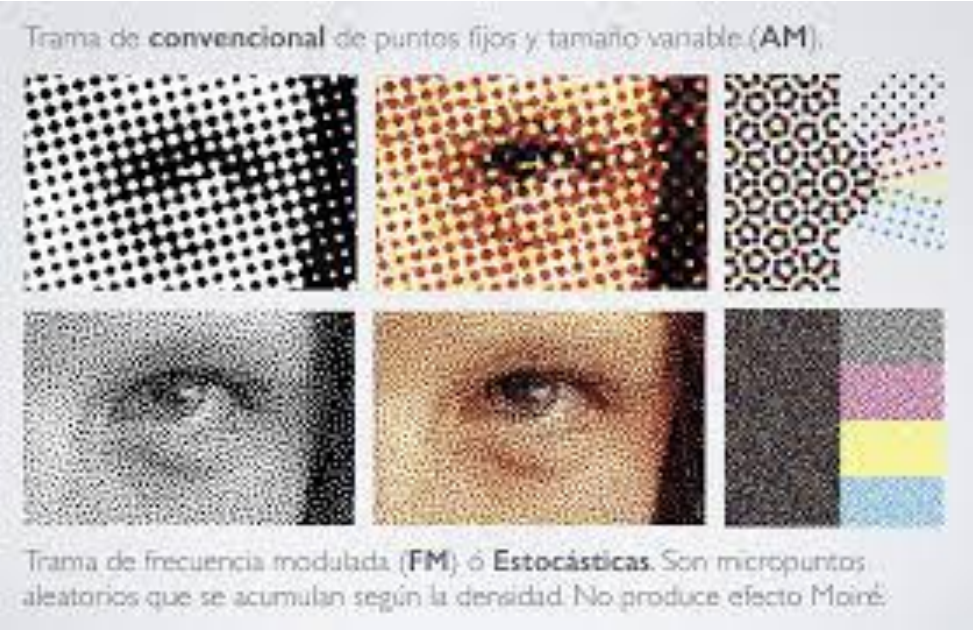
Qué se imprime:
•Tintas funcionales
(conductoras, dieléctricas…)

Cómo funciona:
•Geometría define la función
•Continuidad eléctrica (no puntos aislado)

Objetivo:
Crear dispositivos funcionales

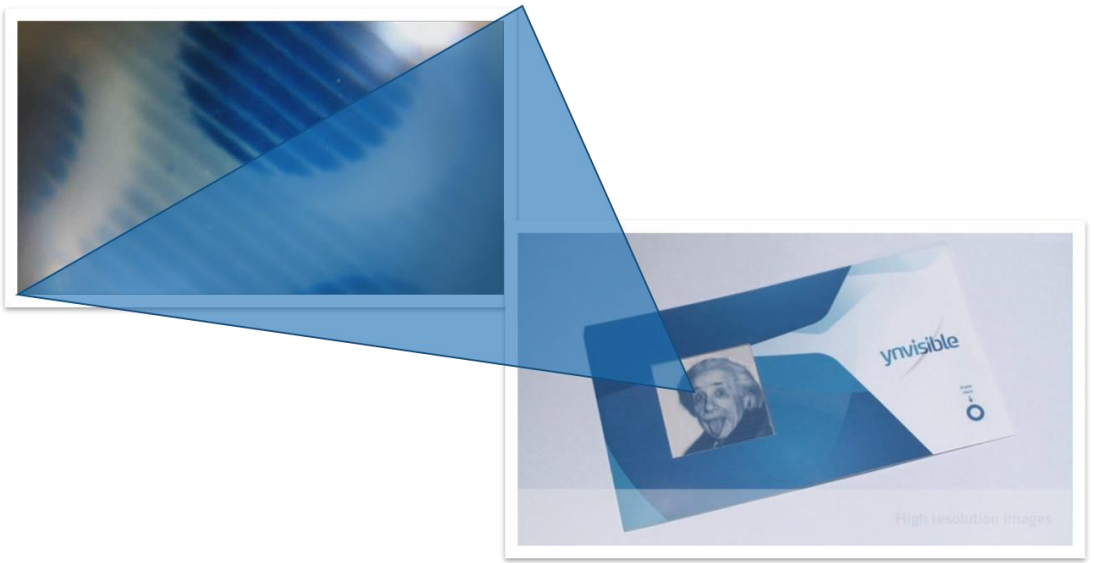
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Impresión convencional vs electronica impresa



Puntos de trama CMYK forma imágenes impresos. Fuente: TASk.bcn

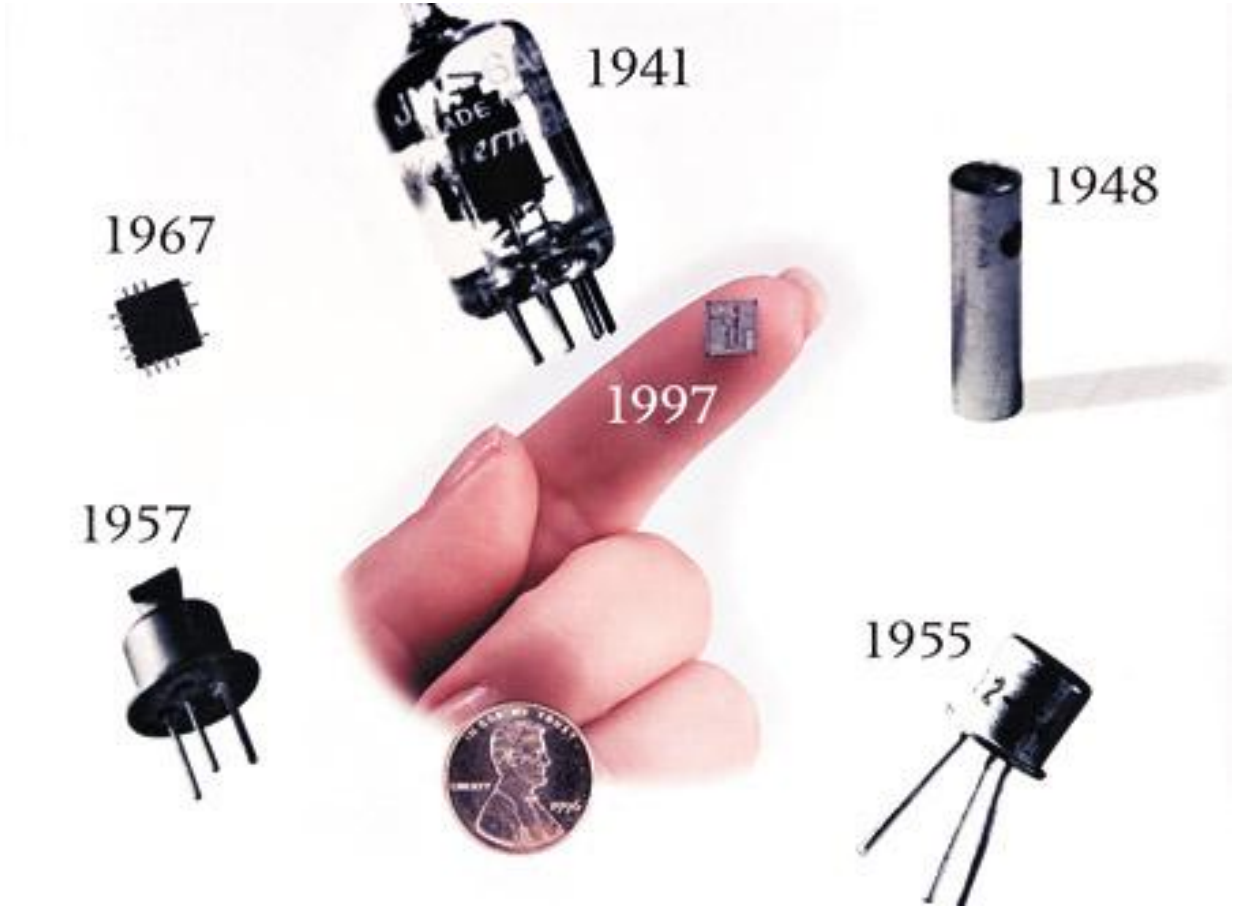
VS.



Display electrocrómico. Fuente: Ynvisible

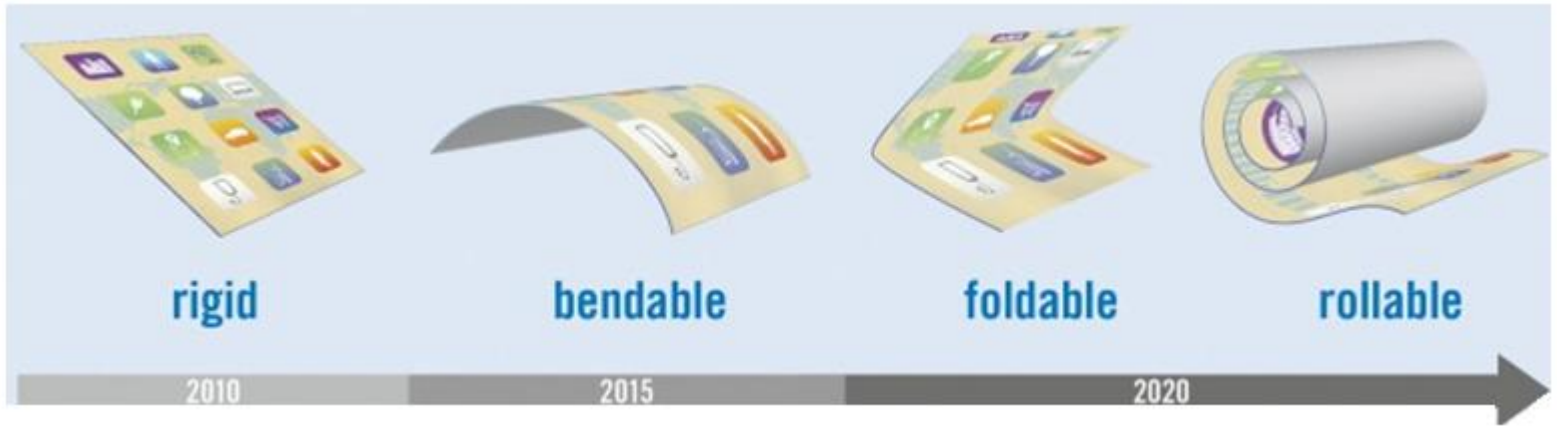
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

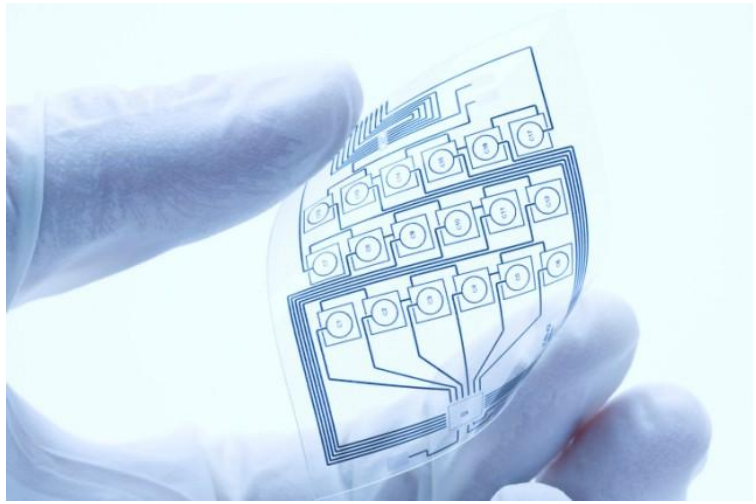
Evolución de la electrónica. Miniaturización

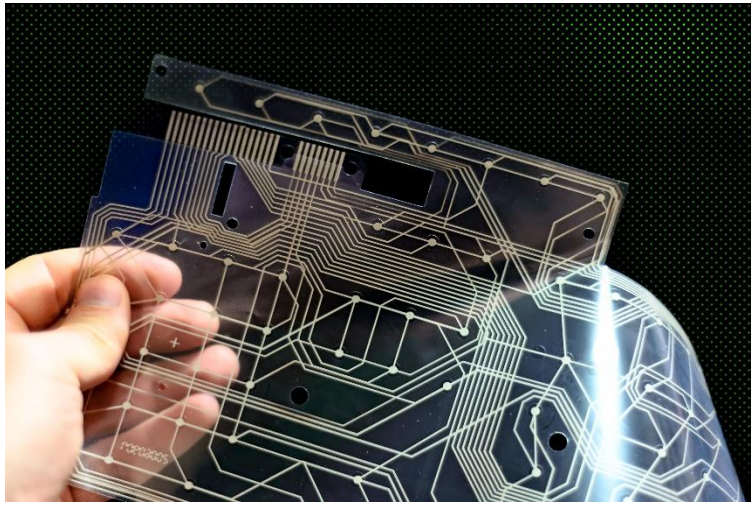


This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Evolución de la electrónica. Flexibilidad







This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Modulo II (I)
Electrónica flexible impresa

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Materiales

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

- Materiales de sustrato y criterios de selección
- Tintas funcionales y su selección
- Reglas básicas para el diseño de circuitos impresos
- Técnicas de impresión en electrónica flexible

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

- Pregunta

¿Qué debe aportar un sustrato en electrónica impresa?

El sustrato no es solo un soporte físico. Es la base de nuestro desarrollo



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

- Pregunta

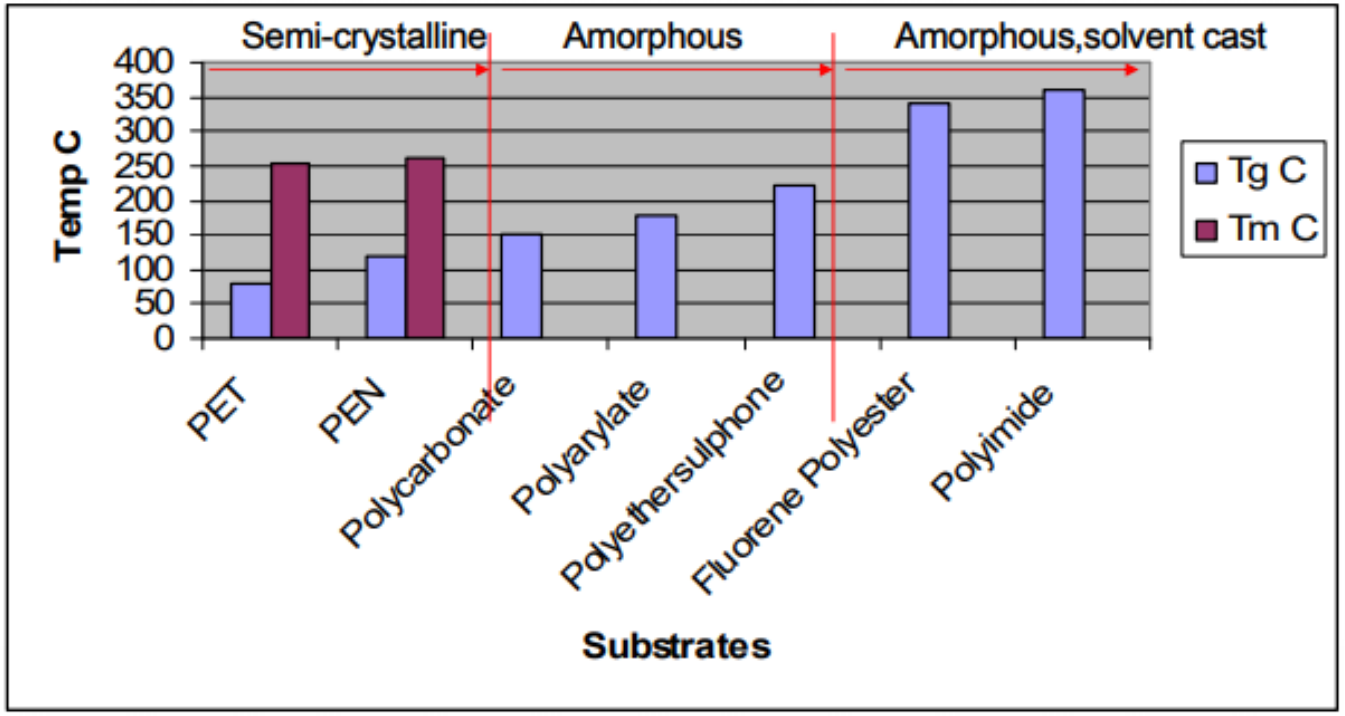
¿Qué limita un sustrato en electrónica impresa?



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

La temperatura de transición vítrea (Tg) debe ser compatible con la temperatura de curado de la tinta.

✓ Si T curado > Tg → deformación, contracción
✓ Si T curado ≈ Tg → inestabilidad dimensional
✓ Si T curado < Tg → proceso estable



Fuente: IDTech 2013

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

El sustrato no solo debe soportar la temperatura.
Debe mantener sus dimensiones tras el proceso:

Shrinkage térmico

- Relajación de tensiones internas
- Contracción tras calentamiento
- Fenómeno irreversible
- Se mide en %

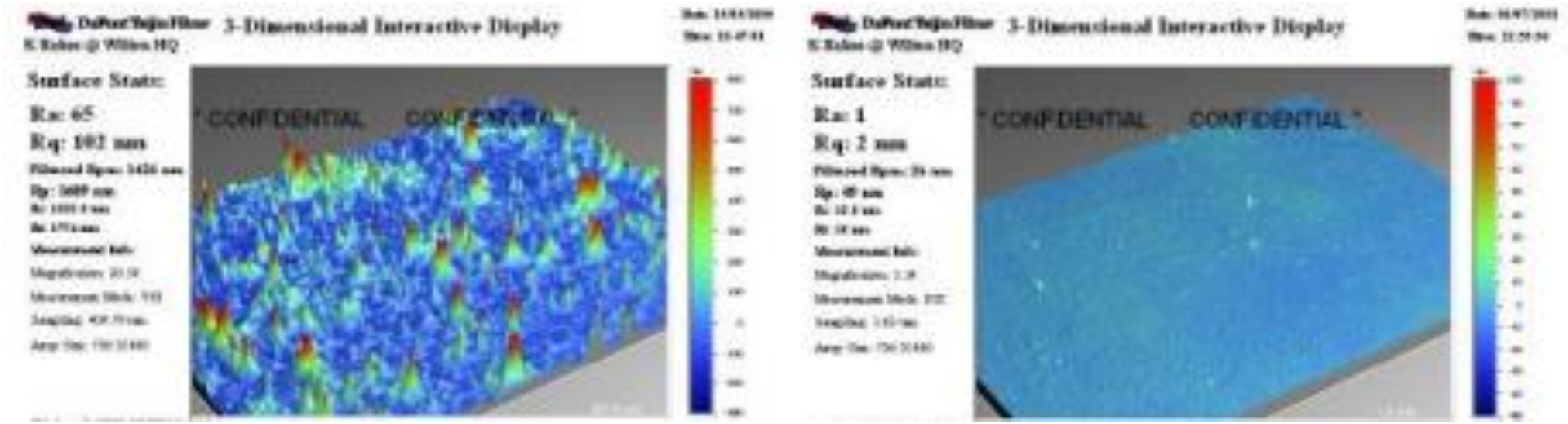
Diferencia

Machine Direction → dirección longitudinal
Tranverse Direction → dirección transversal

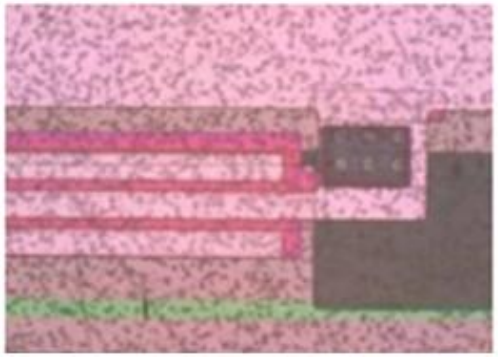
Problemas en multicapa y alineación

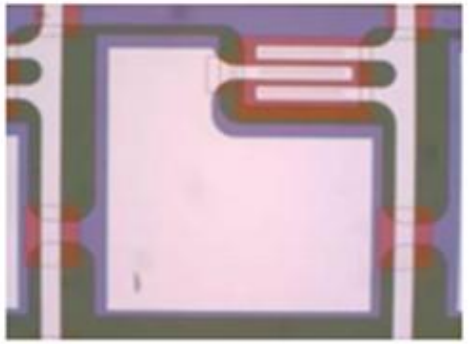
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

El sustrato debe tener una adecuada topología superficial



Fuente: Dupont. IDTech 2013





This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

El sustrato debe tener una energía superficial adecuada

Energía superficial	Adecuada
Adecuada	≥ 40-44 mN/m
Inadecuada	< 40 mN/m



Con una energía superficial baja la tinta se retrae. No moja y no adhiere bien

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Otros criterios de selección:

Por aplicación

- IME
  - Termoformable
  - Compatible con el proceso de inyección

- Wearable
  - Transpirable
  - Deformable por elongación

Por coste

Los materiales técnicos son caros y de limitado acceso

Por funcionalidad→ ¿Que va a soportar?

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Ficha técnica

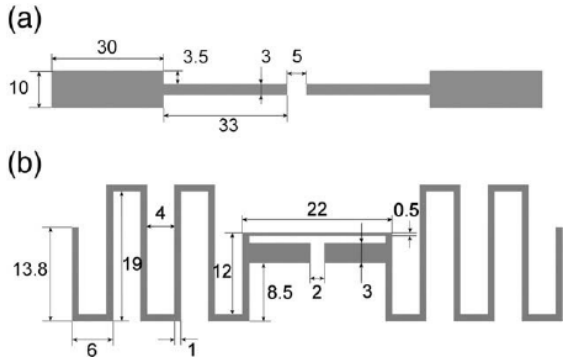
Typical Properties

Available Thickness [Gauge]
500; 700

Property	Thickness	Value	Units	Test
ELECTRICAL				
Dielectric Constant		2.9		ASTM D150
Dielectric Strength		3000	volts/mil	ASTM D149
Surface Resistivity		10^13	Ohms/sq	ASTM D257
Volume Resistivity		10^15	Ohms-m	ASTM D257
OPTICAL				
Gloss 60 Degrees		150		ASTM D1003
Haze	500	0.7	%	ASTM D1003
Haze	700	0.9	%	ASTM D1003
Total Light Transmission (TLT)	500	91.0		ASTM D1003
Total Light Transmission (TLT)	700	90.0		ASTM D1003
PHYSICAL				
C.O.F. (static)		<0.70		ASTM D1894
Elongation at Break MD	500 - 700	170	%	ASTM D882
Elongation at Break TD	500 - 700	110	%	ASTM D882
Flexural Strength	500	>20,000	cycles	ASTM D2176
Flexural Strength	700	>15,000	cycles	ASTM D2176
Tensile Strength MD (break)	500 - 700	27,000	psi	ASTM D882
Tensile Strength MD 5%	500 - 700	14,000	psi	ASTM D882
Tensile Strength TD (break)	500 - 700	30,000	psi	ASTM D882
Tensile Strength TD 5%	500 - 700	14,000	psi	ASTM D882
THERMAL				
Coefficient of Hygroscopic Expansion		6X10^ -6	in/in %RH	40% - 80% RH
Coefficient of Thermal Expansion		10x10^6	in/in/°F	(68 - 122°F)
Melting Point (PEAK)		265	°C	
Shrinkage MD (150°C)	500 - 700	0.05	%	Unrestrained @ 150°C/30 min
Shrinkage TD (150°C)	500 - 700	0.0	%	Unrestrained @ 150°C/30 min

Clave por funcionalidad

Influencia frecuencia resonancia antenas



Shrinkage MD = 0,05 %
Shrinkage TD = 0,00 %
En MD:
200 mm × 0,05 % = 0,1 mm (100 µm)
En TD:
0 mm

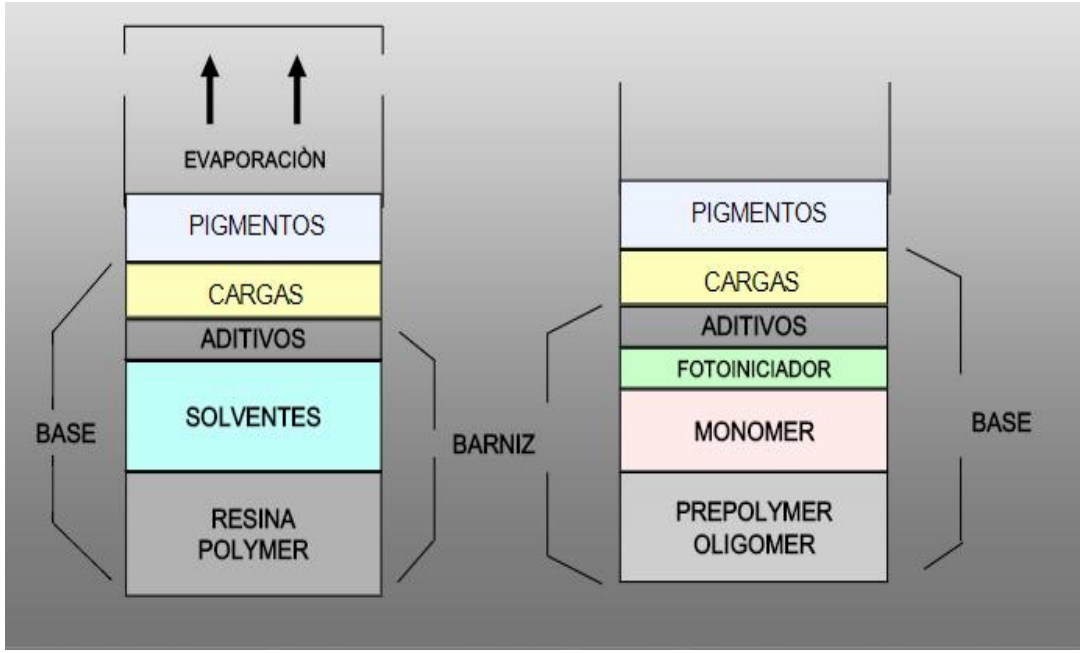
Clave por compatibilidad con tintas

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

¿Que es una tinta funcional?

Una tinta funcional no está diseñada para “ver”. Está diseñada para **funcionar eléctricamente o actuar de aislante**

- Binder/Resina: Actúa en la imprimibilidad y fijación al sustrato
- Monómeros y fotoiniciadores: El binder UV
- Solventes/agua: Actúan sobre la fluidez de la tinta
- Aditivos/cargas: Ajustan las propiedades. Retardantes de secado, antiespumantes…
- Pigmento: Aportan el color/funcionalidad



Fuente: http://slideplayer.es/slide/18829/

This project has received funding from the European Union’s Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

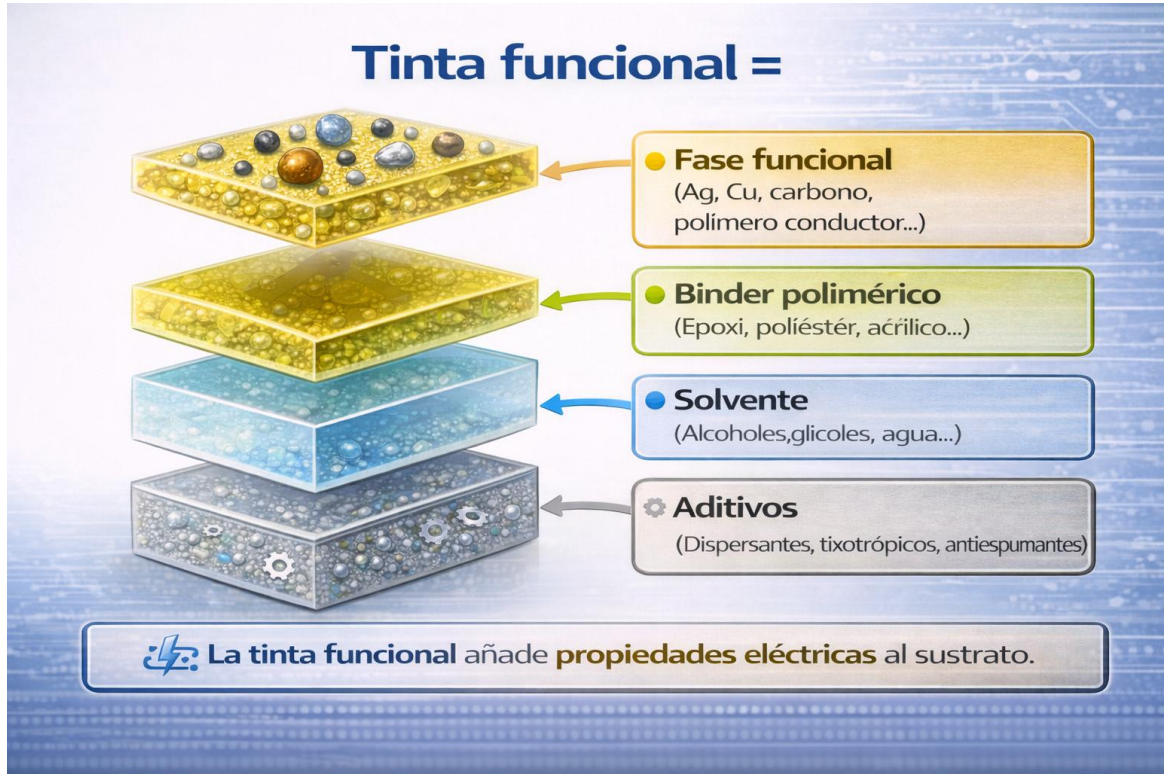
	Tinta gráfica	Tinta funcional
Objetivo	Decoración y color	Añadir propiedades eléctricas al sustrato 
Uso principal	Publicaciones, cartelería, embalaje	Circuitos impresos, electrónica flexible 
Ejemplos		
Composición	Pigmentos + vehiculo	Material funcional + vehiculo + aditivos
Proceso al seco	Mucho residuo (dispersion)	Película densa y compacta 
Propiedades clave	Color, brillo, durabilidad	Conductividad, aislamiento, resistencia
Curado	Económico (~ 90°C)	Curado controlado (~ 150°C)
Selección	Según el color y el soporte	Según función, sustrato y proceso

La tinta funcional añade propiedades eléctricas al sustrato.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Componentes de una tinta funcional

Una tinta funcional no es solo material conductor disperso



Fase funcional

- Define la propiedad eléctrica o aislante.
- Tamaño de partícula → afecta sinterización.
- Forma (flake vs spherical) → afecta conductividad.
- Carga metálica (% peso) → compromiso viscosidad/conductivi

Binder (resina)

- Proporciona adhesión al sustrato.
- Influye en flexibilidad.
- Afecta resistencia química.

Solvente

- Controla procesabilidad.
- Define ventana de impresión.
- Influye en tiempo de secado.

Aditivos

- Estabilidad de dispersión.
- Control de espuma.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Principales tintas funcionales

Existen distintos tipos de tinta en base a su funcionalidad.
La correcta combinación de las mismas permiten alcanzar el desarrollo del dispositivo electrónico completo.

Tintas conductivas

Basadas en metales → Conducen la corriente eléctrica

Tintas resistivas

Basadas en materiales de baja conductividad→ Actúan como resistencias

Tintas dieléctricas

Basadas en materiales aislantes → Actúan como aislante para crear puentes

Tintas encapsulantes

Basadas en monómeros y siliconas → Actúan de protectores

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

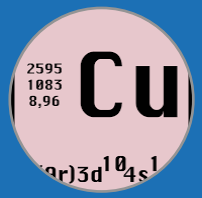
Tintas conductivas

No todas las tintas conductoras ofrecen el mismo equilibrio entre conductividad, coste y estabilidad



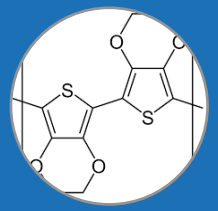
Plata

+ Alta conductividad eléctrica(10-20 mΩ/sq./mil)
+ Baja deposición necesaria
+ Pistas pequeñas
- Alto coste de mercado



Cobre

+ Buena conductividad eléctrica (65-95 mΩ/sq./mil)
+ Bajo coste
- Se oxida
- Pistas más grandes



Polímeros conductores

+ Transparente
+ Bajo coste
+ Metal free
- Conductividad media-baja (200-300 Ω/sq./mil)

No es la plata la que conduce, es la red que forma tras el curado.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Tintas conductivas

Umbral de percolación. Concentración critica de partículas funcionales

Umbral de percolación

Por debajo del umbral:

- Las partículas están aisladas.
- La resistencia es extremadamente alta.
- El material se comporta como aislante.

En el umbral:

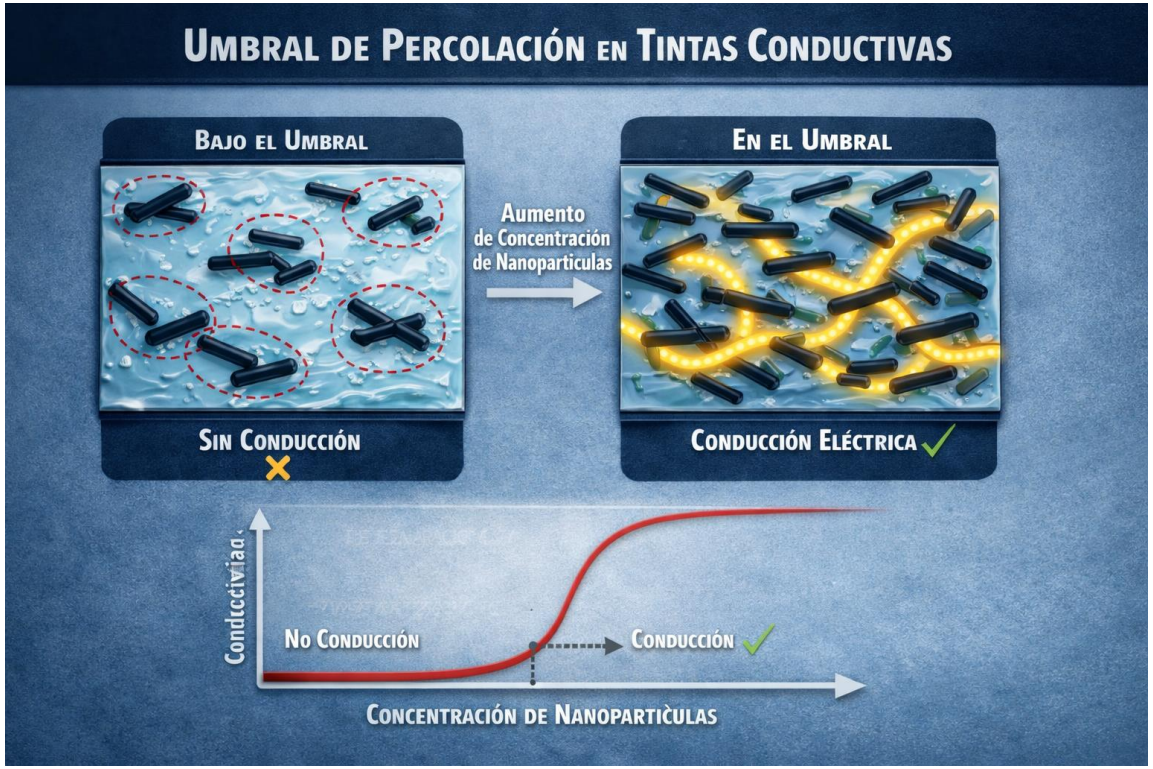
- Se forma una red conectada.
- La resistividad cae varios órdenes de magnitud.
- Aparece conductividad macroscópica.

Por encima del umbral:

La conductividad no se ve incrementada

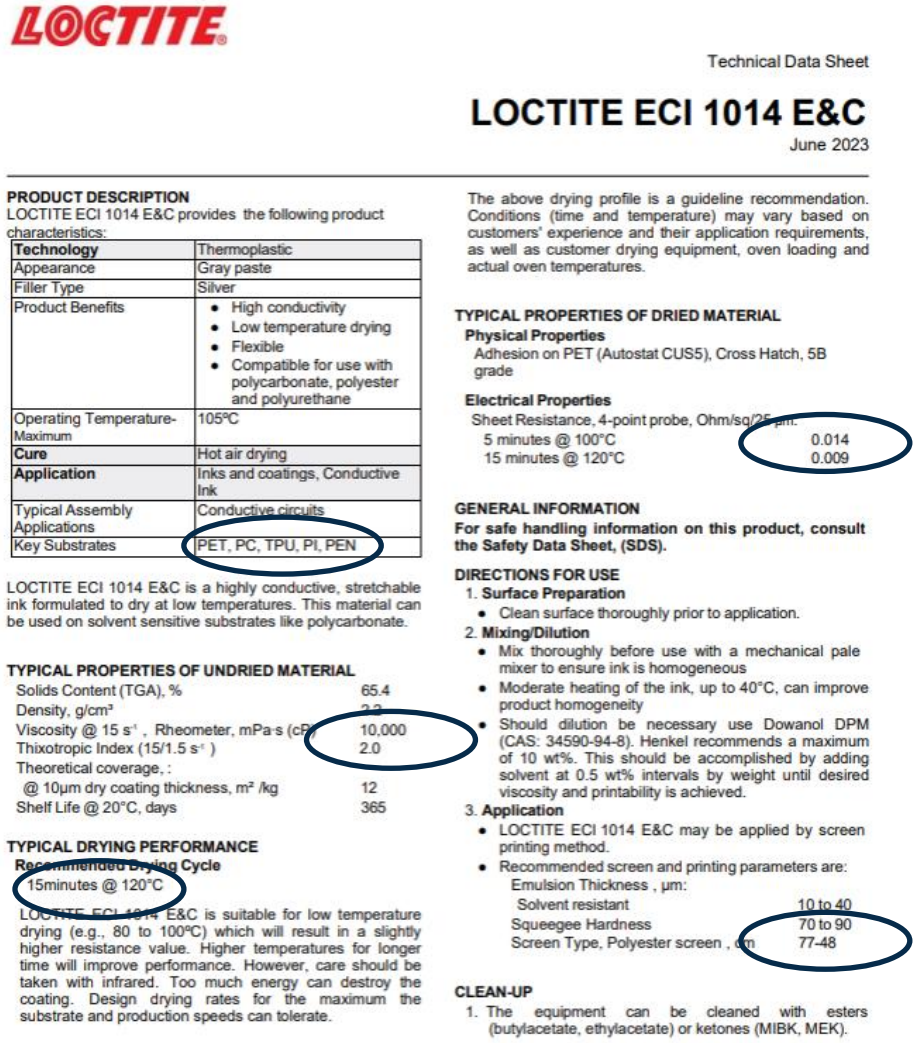
La viscosidad aumenta

La imprimibilidad se reduce



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Tintas conductivas. Interpretación de ficha



LOCTITE

Technical Data Sheet

LOCTITE ECI 1014 E&C

June 2023

PRODUCT DESCRIPTION

LOCTITE ECI 1014 E&C provides the following product characteristics:

Technology	Thermoplastic
Appearance	Gray paste
Filler Type	Silver
Product Benefits	• High conductivity • Low temperature drying • Flexible • Compatible for use with polycarbonate, polyester and polyurethane
Operating Temperature-Maximum	105ºC
Cure	Hot air drying
Application	Inks and coatings, Conductive Ink
Typical Assembly Applications	Conductive circuits
Key Substrates	PET, PC, TPU, PI, PEN

LOCTITE ECI 1014 E&C is a highly conductive, stretchable ink formulated to dry at low temperatures. This material can be used on solvent sensitive substrates like polycarbonate.

TYPICAL PROPERTIES OF UNDRIED MATERIAL

Solids Content (TGA), %	65.4
Density, g/cm³	2.2
Viscosity @ 15 s⁻¹ , Rheometer, mPa·s (cP)	10,000
Thixotropic Index (15/1.5 s⁻¹)	2.0
Theoretical coverage, :	
@ 10µm dry coating thickness, m² /kg	12
Shelf Life @ 20°C, days	365

TYPICAL DRYING PERFORMANCE

Recommended Drying Cycle

15minutes @ 120°C

LOCTITE ECI 1014 E&C is suitable for low temperature drying (e.g., 80 to 100ºC) which will result in a slightly higher resistance value. Higher temperatures for longer time will improve performance. However, care should be taken with infrared. Too much energy can destroy the coating. Design drying rates for the maximum the substrate and production speeds can tolerate.

The above drying profile is a guideline recommendation. Conditions (time and temperature) may vary based on customers' experience and their application requirements, as well as customer drying equipment, oven loading and actual oven temperatures.

TYPICAL PROPERTIES OF DRIED MATERIAL

Physical Properties

Adhesion on PET (Autostat CUS5), Cross Hatch, 5B grade

Electrical Properties

Sheet Resistance, 4-point probe, Ohm/sq/25 µm:

5 minutes @ 100°C	0.014
15 minutes @ 120°C	0.009

GENERAL INFORMATION

For safe handling information on this product, consult the Safety Data Sheet, (SDS).

DIRECTIONS FOR USE

1. **Surface Preparation**
   - Clean surface thoroughly prior to application.
2. **Mixing/Dilution**
   - Mix thoroughly before use with a mechanical pale mixer to ensure ink is homogeneous
   - Moderate heating of the ink, up to 40°C, can improve product homogeneity
   - Should dilution be necessary use Dowanol DPM (CAS: 34590-94-8). Henkel recommends a maximum of 10 wt%. This should be accomplished by adding solvent at 0.5 wt% intervals by weight until desired viscosity and printability is achieved.
3. **Application**
   - LOCTITE ECI 1014 E&C may be applied by screen printing method.
   - Recommended screen and printing parameters are:

Emulsion Thickness , µm:	
Solvent resistant	10 to 40
Squeegee Hardness	70 to 90
Screen Type, Polyester screen , mn	77-48

CLEAN-UP

1. The equipment can be cleaned with esters (butylacetate, ethylacetate) or ketones (MIBK, MEK).

Compatibilidad química

Viscosidad → influye en la impresión

Curado → influye en la impresión

Sheet resistance → Conductividad eléctrica

Mallas recomendadas → influye en la impresión

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Selección de tintas conductivas

No se elige la tinta más conductora. Se elige la más adecuada para la aplicación.

Criterio	Impacto
Conductividad requerida	Pérdidas eléctricas
Temperatura de curado	Compatibilidad con sustrato
Flexibilidad	Fatiga en flexión
Coste	Escalabilidad
Resolución de impresión	Geometría de pista
Ambiente de uso	Corrosión / migración

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

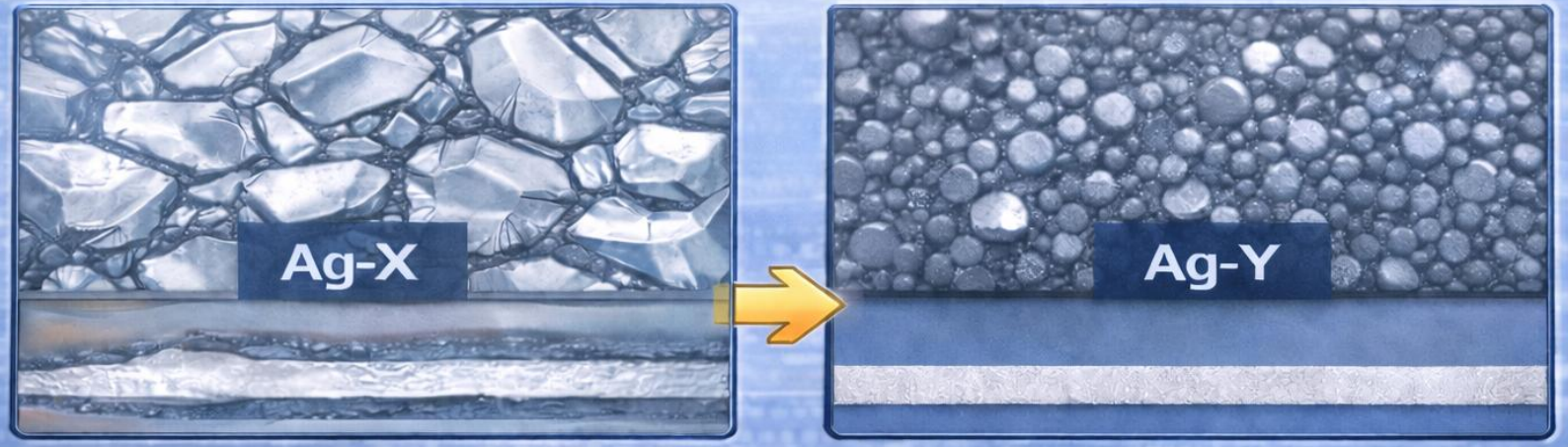
Selección de tintas conductivas



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Selección de tintas conductivas

Tinta de plata	Ag-X	Ag-Y
Conductividad	Muy alta	Alta
Tamaño partícula	8~12 µm (flakes grandes)	1-3 µm
Viscosidad (serigrafía)	Muy alta	Media



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Tintas resistivas y dieléctricas

No todo en electrónica impresa es conductor.

Dieléctricas
- Aislamiento entre capas
- Control de capacitancia

Propiedades clave:
- Constante dieléctrica (εr)
- Rigidez dieléctrica
- Espesor uniforme

Resistivas
- Sensores
- Calentadores
- Resistencias impresas

Propiedades clave:
- Resistividad controlada
- Estabilidad térmica
- Coeficiente térmico de resistencia (TCR)

En un dispositivo, la tinta dieléctrica y la resistiva son tan críticas como la conductora.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Selección de tintas resistivas y dieléctricas.

Una tinta dieléctrica no solo aísla. Puede llegar a definir el comportamiento funcional del dispositivo

Criterio	Por qué importa
Constante dieléctrica (ε_r)	Influye en capacitancia y RF ↑
Rigidez dieléctrica	Evita perforaciones eléctricas
Espesor imprimible	Controla aislamiento y geometría
Temperatura de curado	Compatibilidad con sustrato
Adhesión multicapa	Fiabilidad estructural ↑
Flexibilidad	Aplicaciones flexibles

Una mala elección en la tinta dieléctrica puede generar fallos invisibles hasta que el dispositivo entra en servicio.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

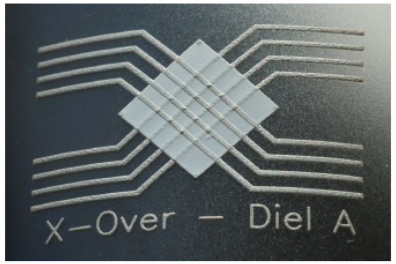
Selección de tintas resistivas y dieléctricas.

DuPont™ ME779

Crossover Dielectric

Product Description

DuPont™ ME779 is a part of the DuPont suite of materials developed for In-Mold Electronic applications. ME779 is a solvent based crossover dielectric designed to be used in complex, stretchable multilayer circuits. It performs well in thermoformed and over-molded applications due to its unique chemistry.



Product Benefits

- Excellent printability with minimal pin-holing
- High dielectric insulation properties with 2-3 printed layers
- High breakdown voltage
- High elongation with minimal/no cracking after thermoforming

Typical Physical and Electrical Properties

Test	Properties
Solids, (%) @ 150°C	65 – 67
Viscosity, (Pa.s) [Brookfield RVT #14 Spindle; 10 RPM, 25°C]	50 – 70
Thinner	DuPont™ 3610
Coverage (cm²/gr @ 10µm thickness)	290
Recommended total crossover thickness (µm)	>25
Dielectric Constant	18
Adhesion to Polycarbonate Scotch Tape #600, Crosshatch (ASTM D3359)	5
Breakdown Voltage [1mm traces at 90 degrees with >= 25µm dielectric] (kV)	> 2.5
Color	White

This table shows anticipated typical physical properties for DuPont™ ME779 based on specific controlled experiments in our labs and are not intended to represent the product specifications, details of which are available upon request. Coverage value based on printing with a 280-030 (0.0012" wire diameter) stainless steel screen.

Processing

Substrates
Polycarbonate, surface-treated polyester

Screen Printing Equipment
Reel-to-reel, semi-automatic or manual

Ink Residence Time on Screen
< 1 Hour

Screen Types
Polyester, stainless steel

Typical Drying Conditions
Box oven: 120°C for 20 minutes in a well-ventilated oven
Reel-to-reel: 120°C for 4 minutes in a well-ventilated tunnel dryer

Typical Layer Thickness
7~10µm per layer; printed with a 280-030 (0.0012" wire diameter) stainless steel screen or 77-48 (threads/cm - wire diameter) PET screen.

Clean-Up Solvent
Ethylene glycol diacetate

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Diseño

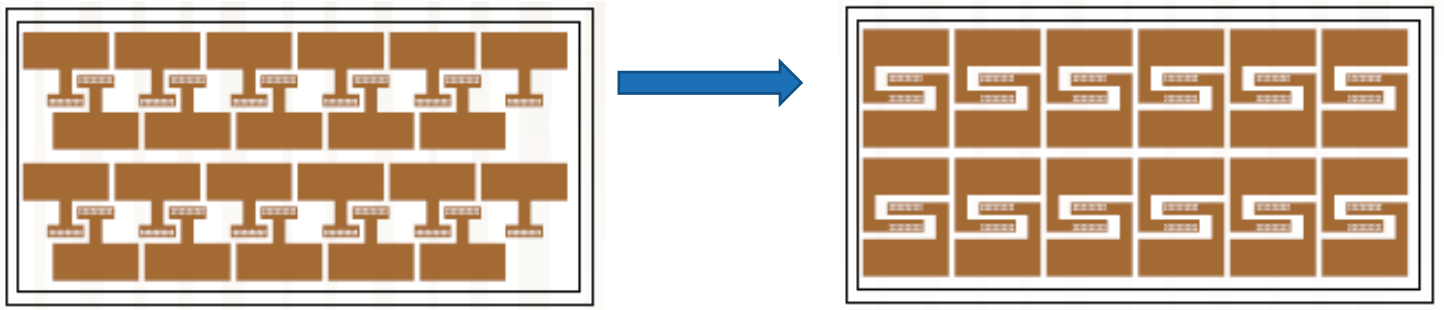
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Diseño.

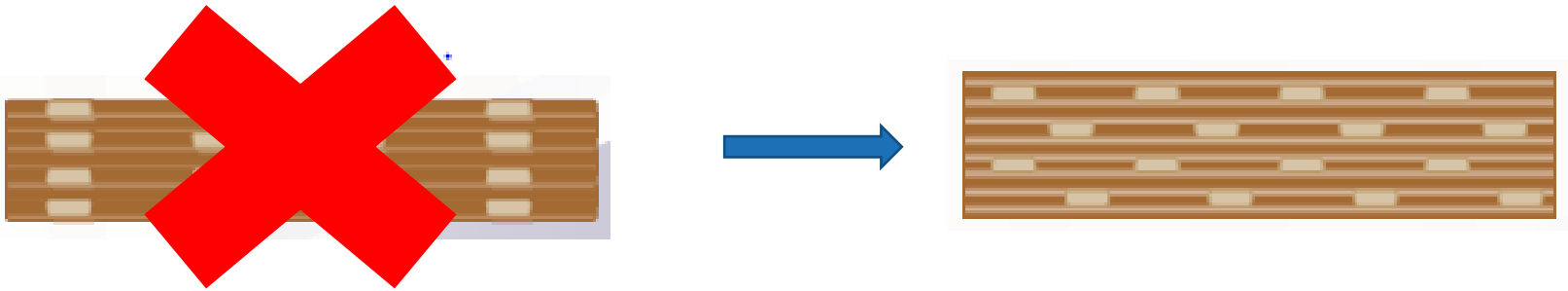
Número de capas → Menos número, menos herramientas, menos coste



Optimizar espacio →



Visión 3D →



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Diseño.

Diseñar en electrónica impresa ≠ Diseñar una PCB

Proceso de fabricación → Condiciona el diseño

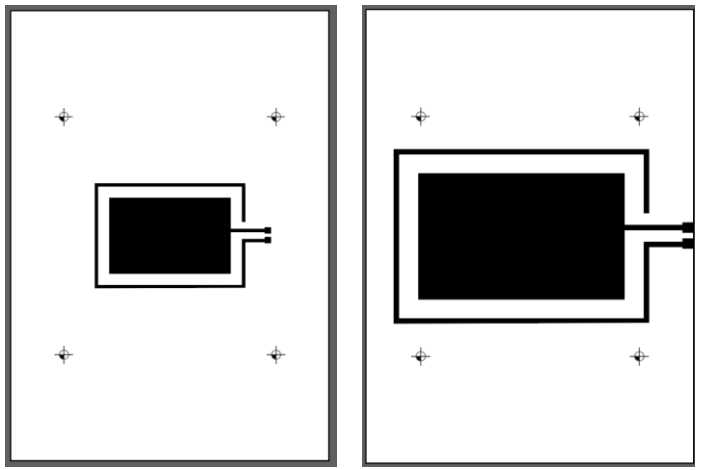
PCB tradicional	Electrónica impresa
Cobre 35 µm	Espesor variable (5–20 µm)
Conductividad muy alta	Conductividad menor
Resolución muy fina	Limitada por proceso
Resolución muy fina	Sensores imprecisos

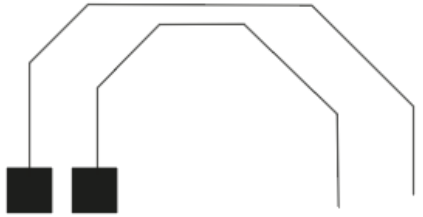
Diferencias entre PCB tradicional y electrónica impresa que debemos controlar

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Diseño.

Geometría de diseño y de pista.





- ✓ El diseño debe incluir margen
- ✓ Considerar ancho mínimo reproducible
  - Serigrafía: 100–150 µm
  - Inkjet: menor ancho pero menor espesor
- ✓ Separación mínima→ Expansión lateral.
  - Diseñamos 150 µm → imprimimos 170 micras
- ✓ Tolerancia acumulada
  - Nada es perfecto. No se diseña con la medida nominal. Se diseña con la peor combinación posible de tolerancias

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Diseño.

Resistencia real de una pista.

¿Tenemos un objetivo de resistencia en una pista?

Nunca será igual que la de cobre

$R = \rho * \frac{L}{A}$ donde A= ancho x espesor

Ej. Tinta sheet resistance 10 mohm/sq/mil

ρ= Rs·t

t= 25,4×10−6m

ρ=0,01×25,4×10−6 →2,54×10−7 Ω·m

Longitud L = 100 mm = 0,1 m

Ancho w = 200 µm = 2×10^{-4} m

Espesor t = 10 µm = 1×10^{-5} m

Tinta plata

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

$$R = \frac{2,54 \times 10^{-7} \times 0,1}{2 \times 10^{-9}}$$

$$R = \frac{2,54 \times 10^{-8}}{2 \times 10^{-9}}$$

$$R = 12,7\,\Omega$$

Cobre

$$R_{Cu} = \frac{1,68 \times 10^{-8} \times 0,1}{2 \times 10^{-9}}$$

$$R_{Cu} = \frac{1,68 \times 10^{-9}}{2 \times 10^{-9}}$$

$$R_{Cu} \approx 0,84\,\Omega$$

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

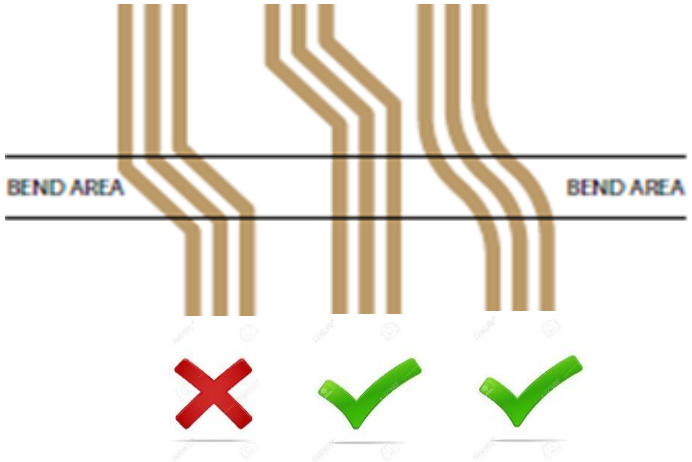
Diseño.

Flexión.

La flexión genera tensiones en las pistas.

- Evitar ángulos rectos
- Usar radios amplios
- Distribuir corriente
  - Ensanchamientos progresivos
  - Tear drops
- Evitar concentraciones en bordes





Esquinas redondeadas

•Sustituir 90° por radios.

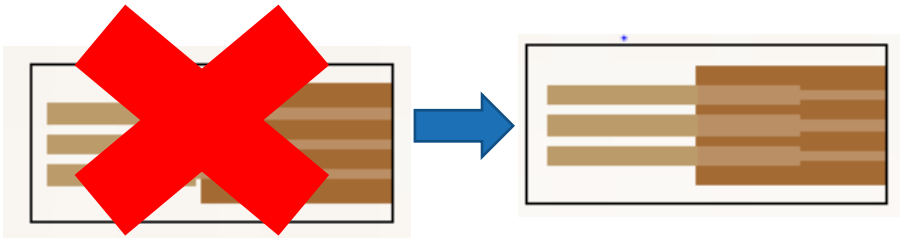
Evitar puntas y terminaciones agudas

•En pads, evita “picos” que favorecen fisuras y delaminación

Transiciones suaves en cambios de dirección

•Curvas o dos ángulos de 45° mejor que un 90°.

•Especialmente en líneas con corriente o en zonas que flexan

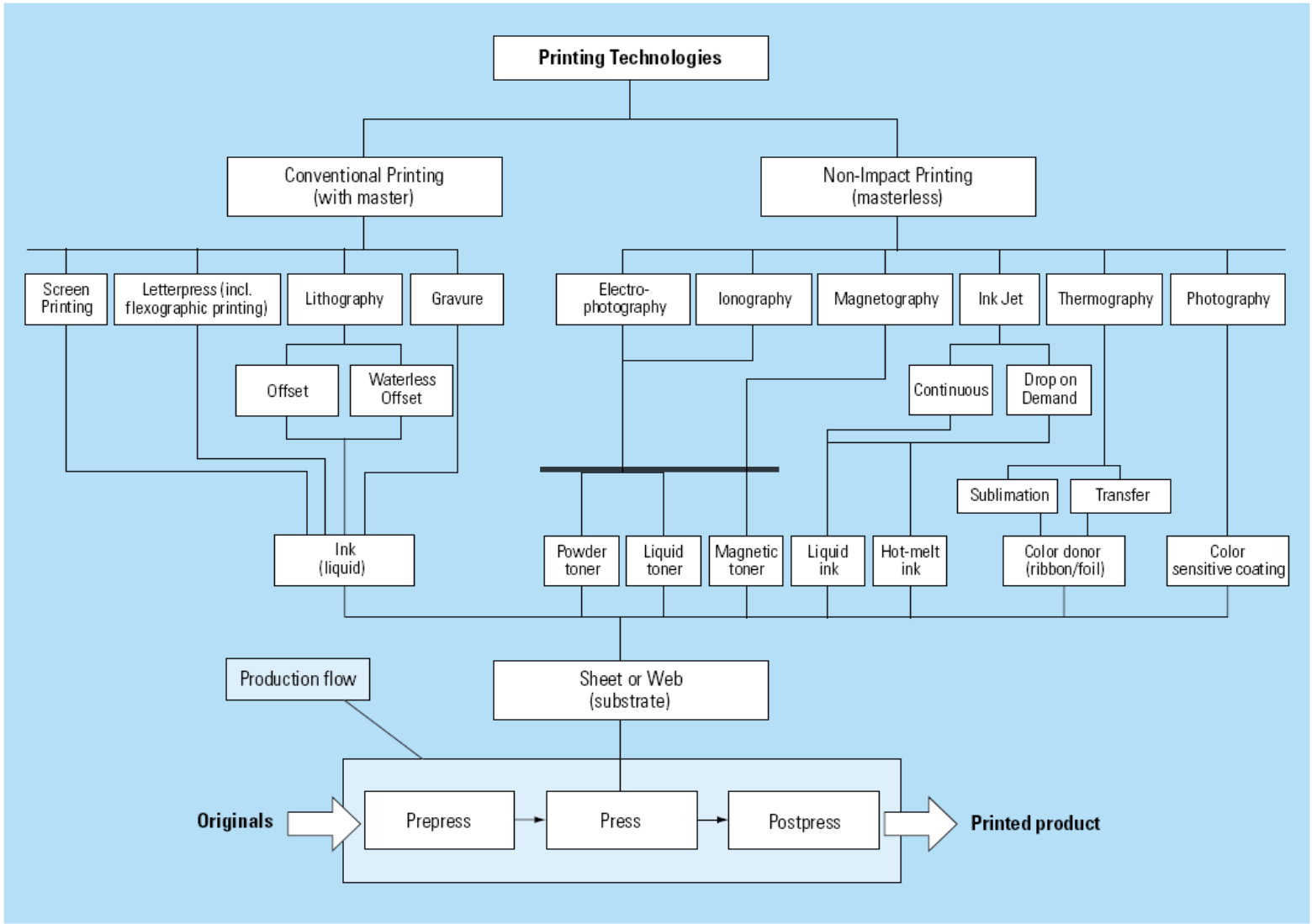


This project has received funding from the European Union’s Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas.

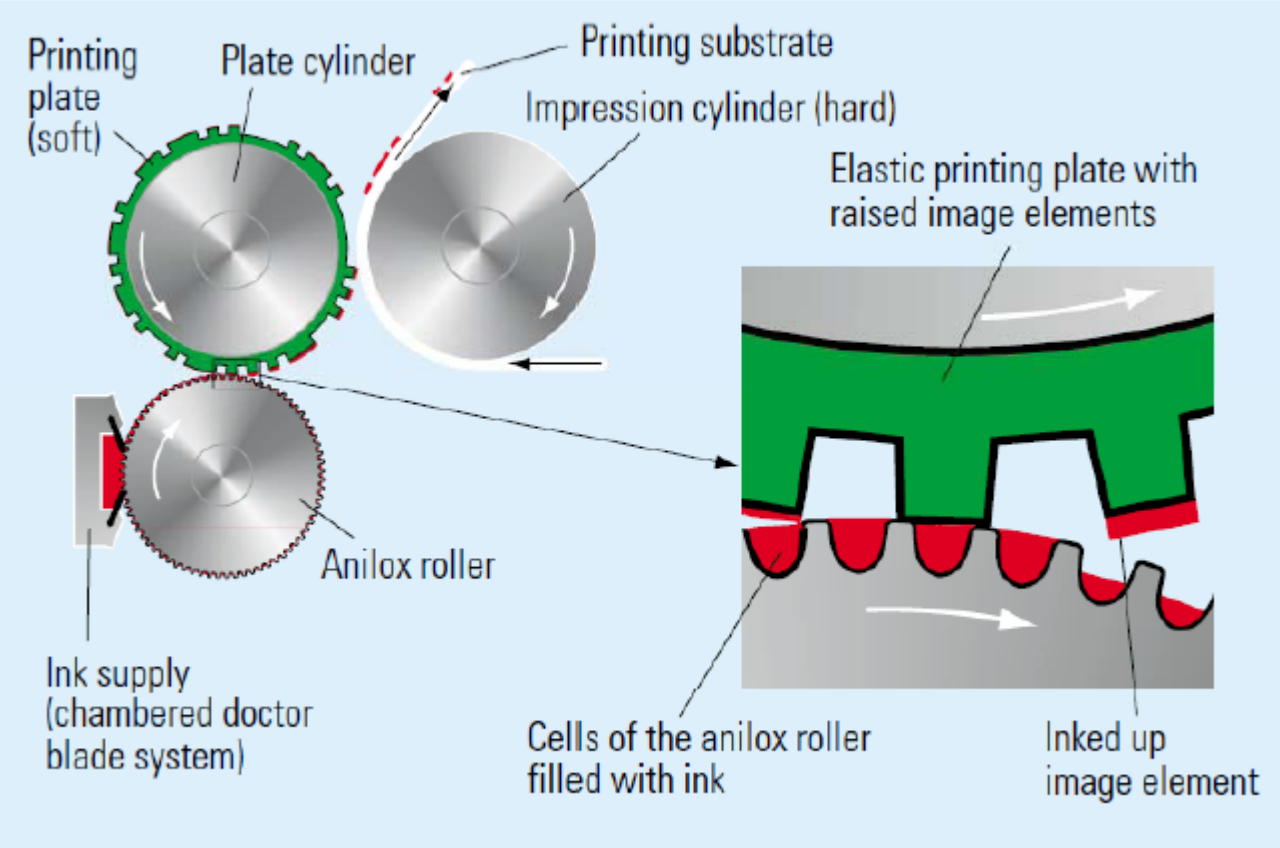


Source: Hand book of Print Media, H. Kiphann. (ISBN 3-540-67326-1)

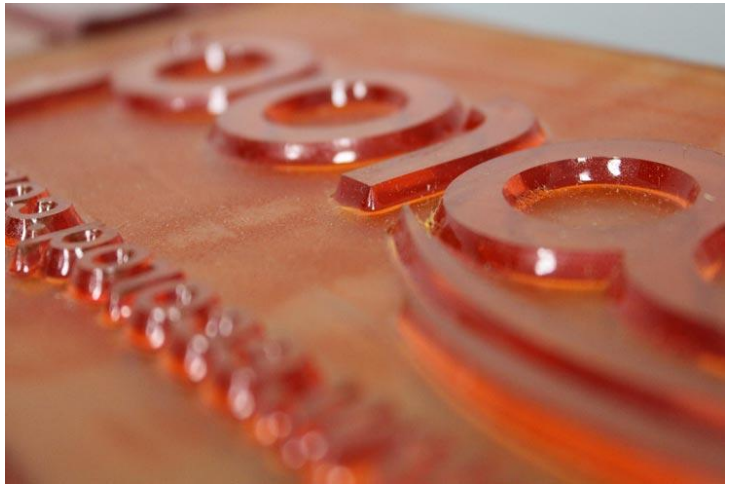
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas.

Impresión flexográfica



© Handbook of Print Media, H. Kipphan (ISBN 3-540-67326-1)





This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas.

Impresión flexográfica

Ventajas

- Alta resolución(30 µm);
- Alta velocidad(500 m/ min);

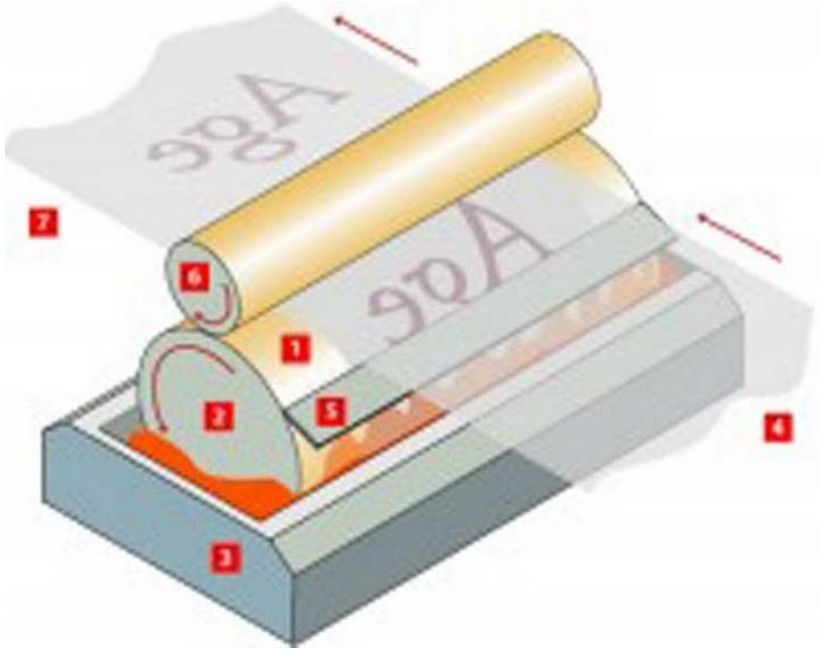
Desventajas

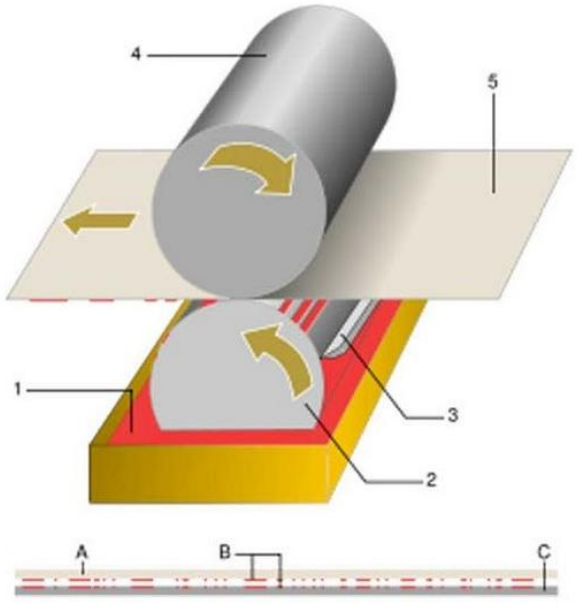
- Espesor de capa limitado (2 – 10 µm húmedo)
- Registro pobre debido a la plancha / Deformación de la cinta;
- Durabilidad de la plancha baja debido a los solventes

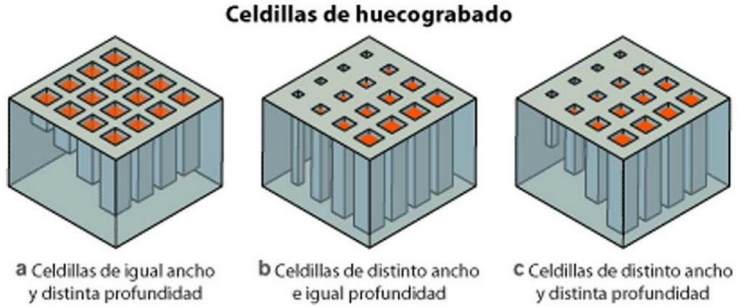
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas.

Impresión huecograbado



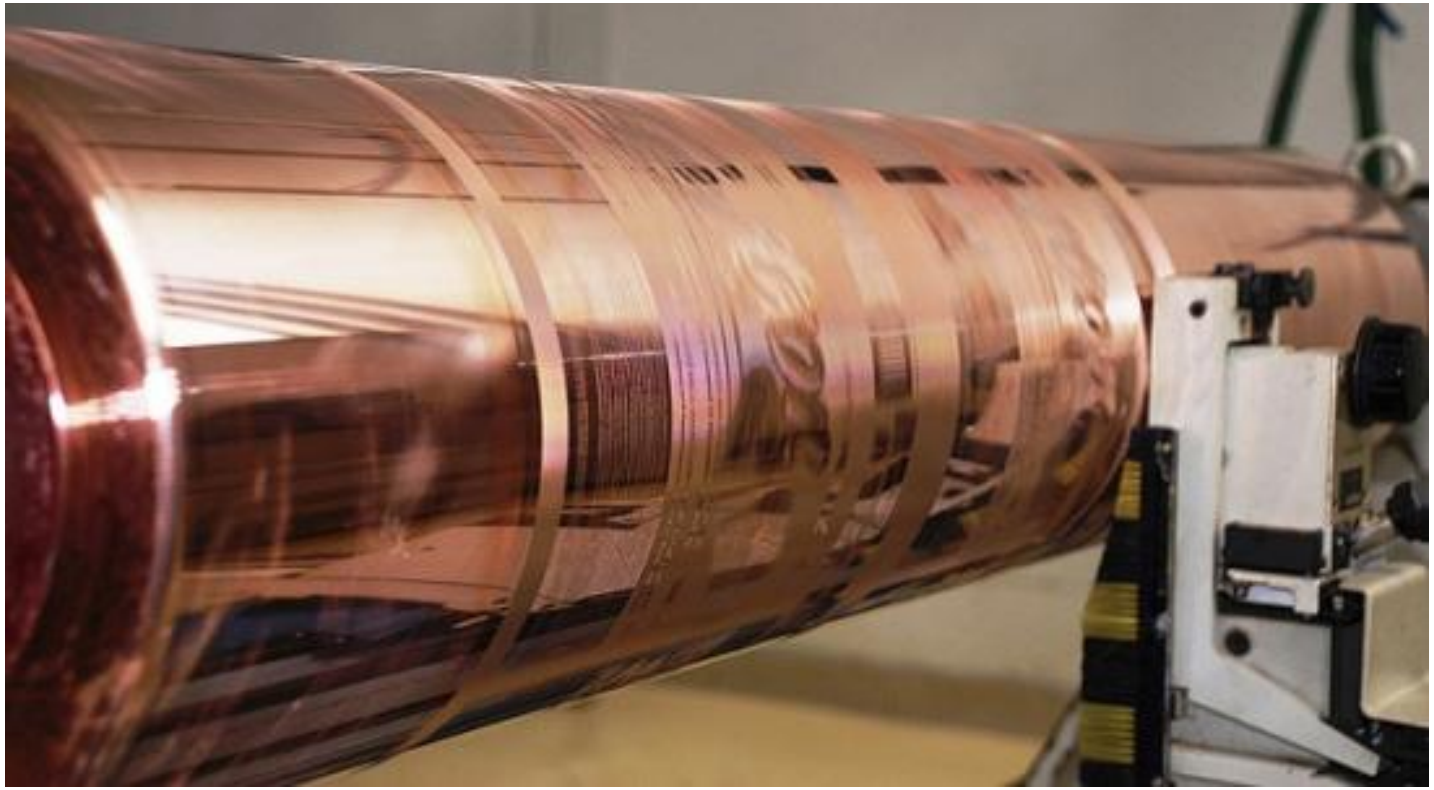




This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas.

Impresión huecograbado



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas.

Impresión huecograbado

Ventajas

- Alta resolución /Alta calidad de imagen
- Gran velocidad
- Gran volumen de producción
- Forma impresora robusta

Desventajas

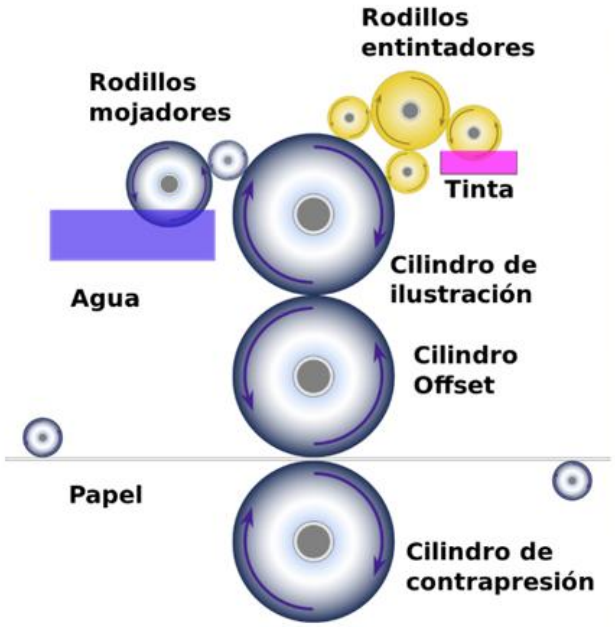
- Altos Costes de producción
- Sólo tintas de baja viscosidad
- Resolución (definición de imagen) muy influenciada por el control del espesor de capa aportado.



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas.

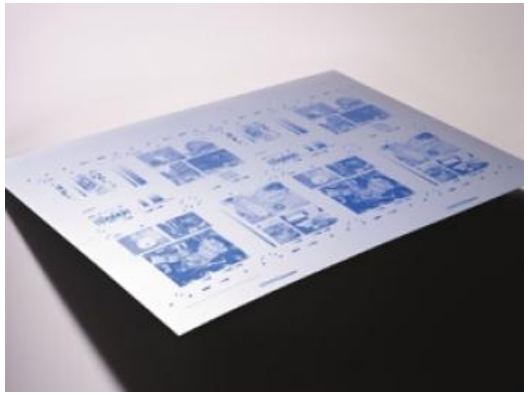
Impresión offset







Forma impresora offset (Fuente: recursos.cnice.mec.es)





This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas.

Impresión offset

Ventajas

- Alta resolución /buena calidad de imagen
- Bajo coste de la forma impresora
- Competitivo en costes en tiradas medias

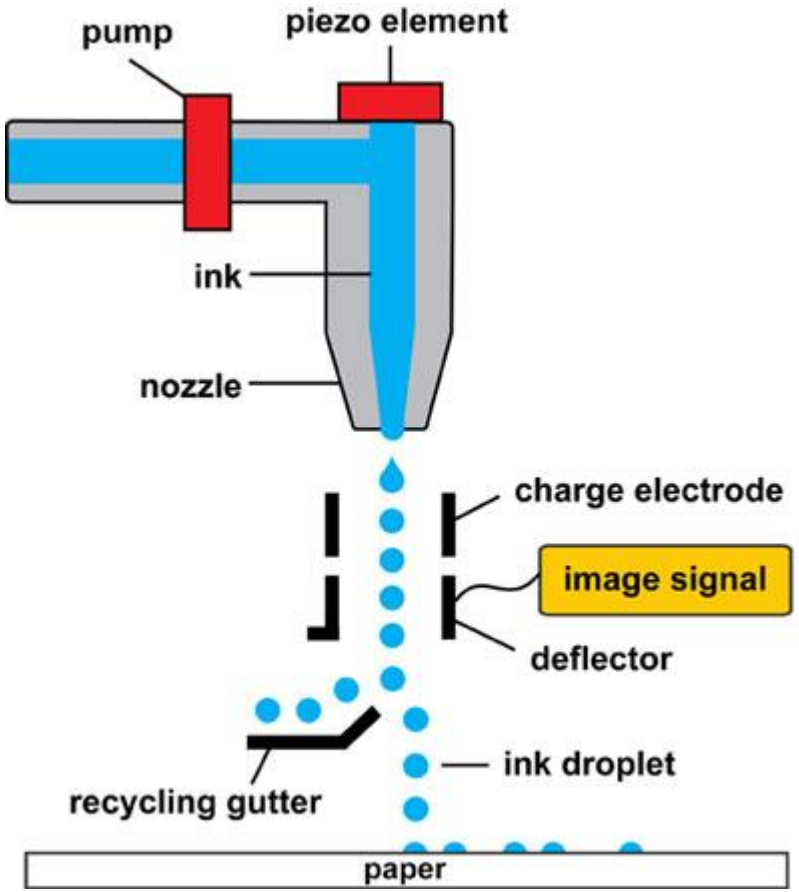
Desventajas

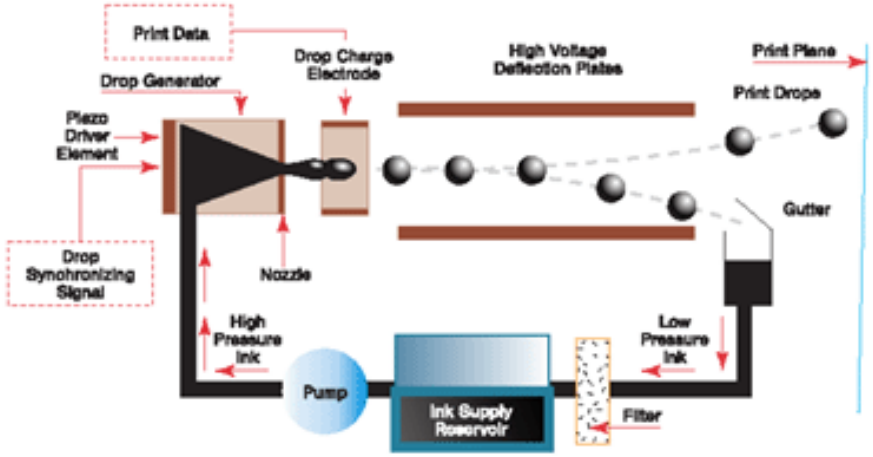
- Sólo bajos espesores de capa
- Sólo tintas de alta viscosidad
- Sólo tintas grasas
- Requiere un balance agua/tinta

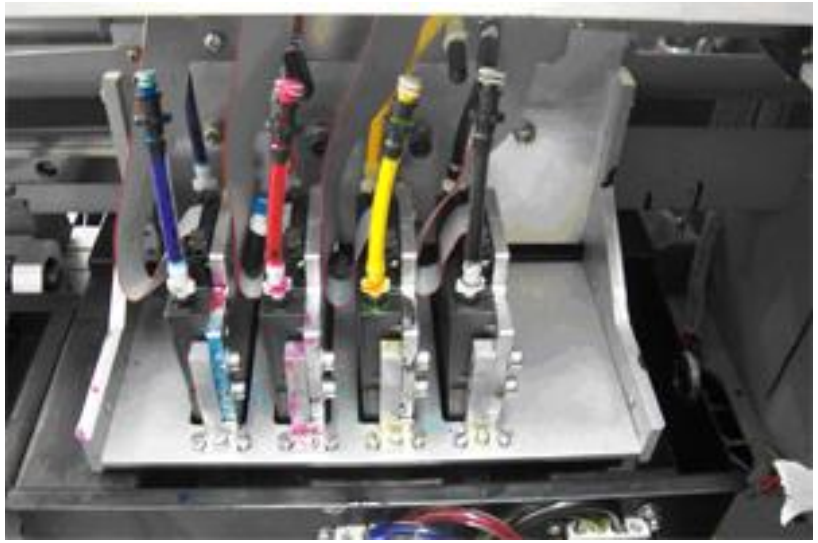
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas.

Impresión inkjet







This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas.

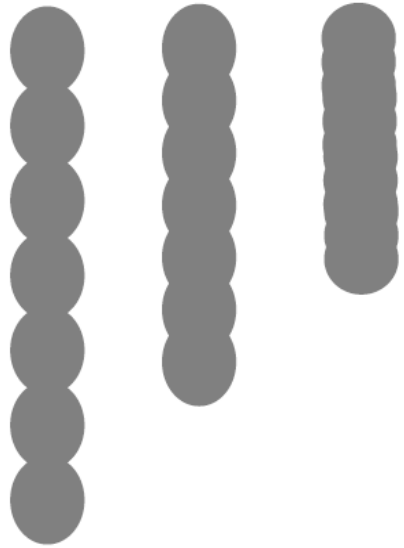
Inkjet

Ventajas

- Impresión directa sin contacto
- No requiere forma impresora
- Competitivo en tiradas cortas
- Registro dinámico entre capas

Desventajas

- Deposición de gotas
- Bajos espesores de capa
- Limitación en el tamaño de partícula (<1 µm)
- Tintas baja viscosidad
- Ratio de producción bajo



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas.

Flexografía

- Tirada media
- Calidad media
- Principales aplicaciones:
  - Envase
    - Flexible
    - Papel
    - Cartón
  - Publicaciones
  - Papel de regalo
  - Etiquetas y sleeves

Huecograbado

Tiradas largas
- Gran volumen de producción
- Gran velocidad
- Alta calidad

Principales aplicaciones
- Envase
- Publicaciones / Editorial
  - Libros de Arte
  - Catálogos de alta calidad
  - Edición de largas tiradas
- Otros
  - Papel decoración
  - Laminados: muebles y tarimas

Offset

- Alta calidad de imagen
- Tiradas largas.
- Materiales porosos: papel y cartón

Principales aplicaciones:
- Envase y estuchería
- Editorial
  - Libros
  - Revistas
  - Prensa
- Publicomercial
  - Catálogos
- Impresión seguridad
  - Billetes

Inkjet

- Calidad de imagen media
- Competitivo en tiradas cortas
- Impresión multisustrato

Principales aplicaciones:
- Cartelería y gigantografía
- Editorial y publicomercial en tiradas cortas
- Envase y etiquetas tiradas costas
- Nuevas aplicaciones en impresión industrial:
  - Estampación textil
  - Cerámica y vidrio
  - Envase cartón

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas.

Impresión serigrafía



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

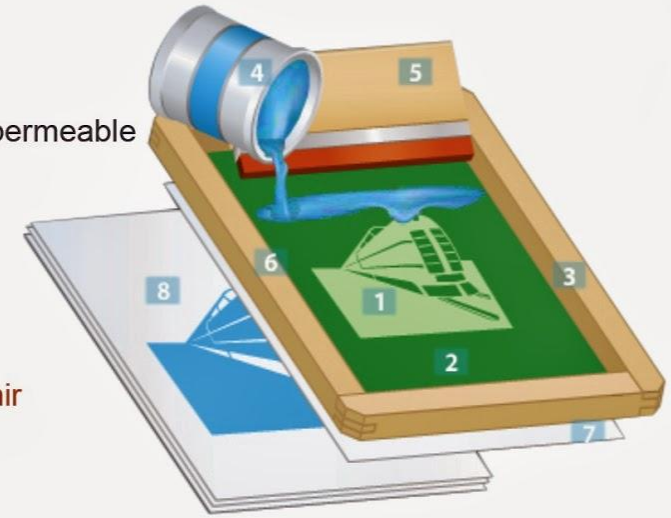
Técnicas.

Impresión serigrafía

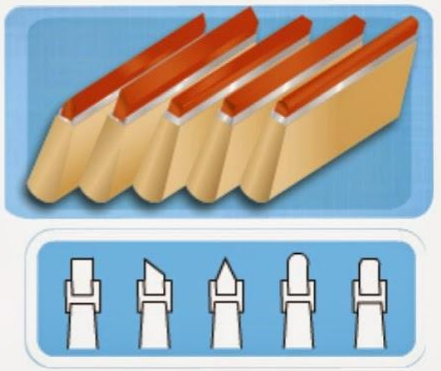
Materiales

La serigrafía utiliza como matriz una tela tensada sobre el bastidor. Aplicando tinta en esta, se obtiene un gráfico que se translada al soporte, situado debajo, mediante la presión del rasero o recleta.

1. Zona de impresión permeable
2. Zona de impresión impermeable
3. Malla
4. Tinta
5. Rasero
6. Bastidor
7. Material para imprimir
8. Papel Impreso



Rasero Filo de Goma



Perfil cuadrado de borde recto, se utiliza en impresión de papel, metal y para imprimir detalles finos de textil

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

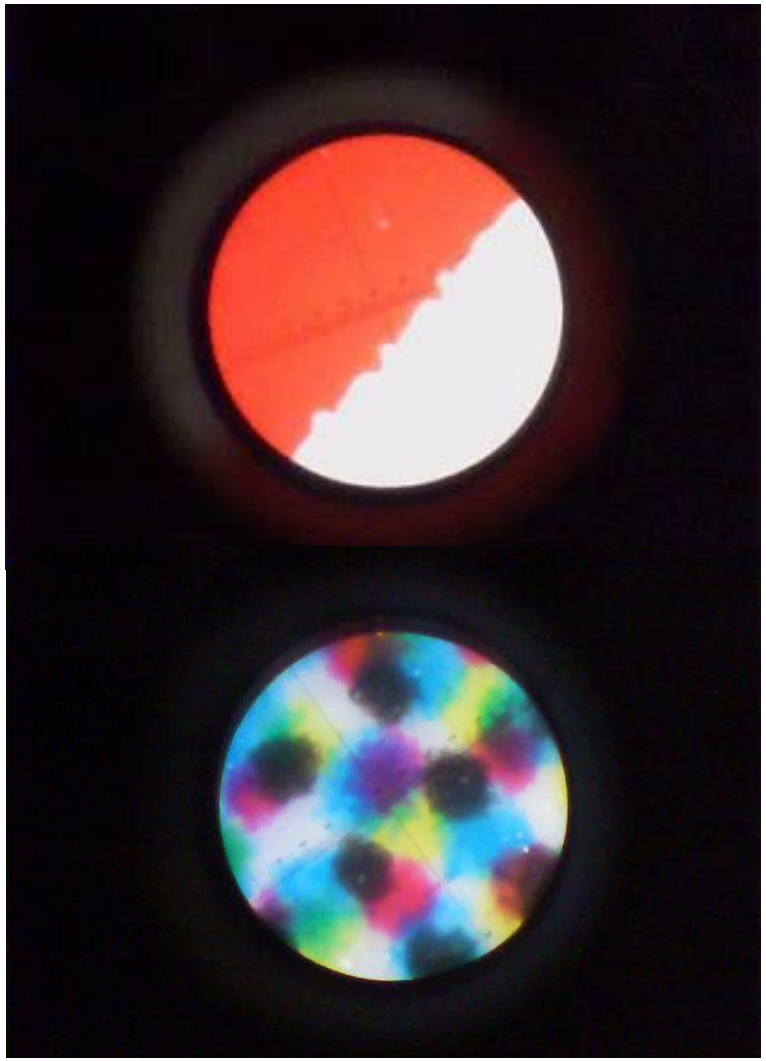
Técnicas.

Impresión serigrafía

- La malla o tejido del bastidor está compuesta por hilos entretejidos y por tanto la imagen generada encima de ella puede tener como dientes de sierra en los bordes de letras, líneas, etc.

- La capa de tinta depositada: se deja una capa gruesa en comparación con los demás sistema





This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas.

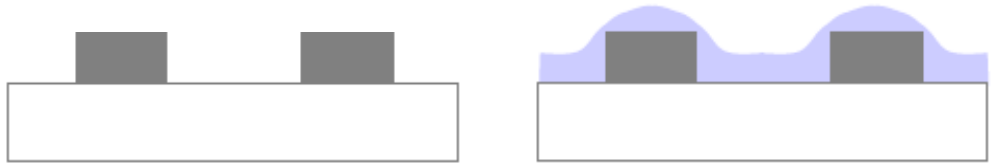
Impresión serigrafía

Ventajas

- Espesor de capa gruesa
- Amplio rango de viscosidades imprimibles
- Baja presión de impresión
- Gran formato relativamente fácil
- Facilidad de uso
- Probado a nivel industrial para escalado.

Desventajas

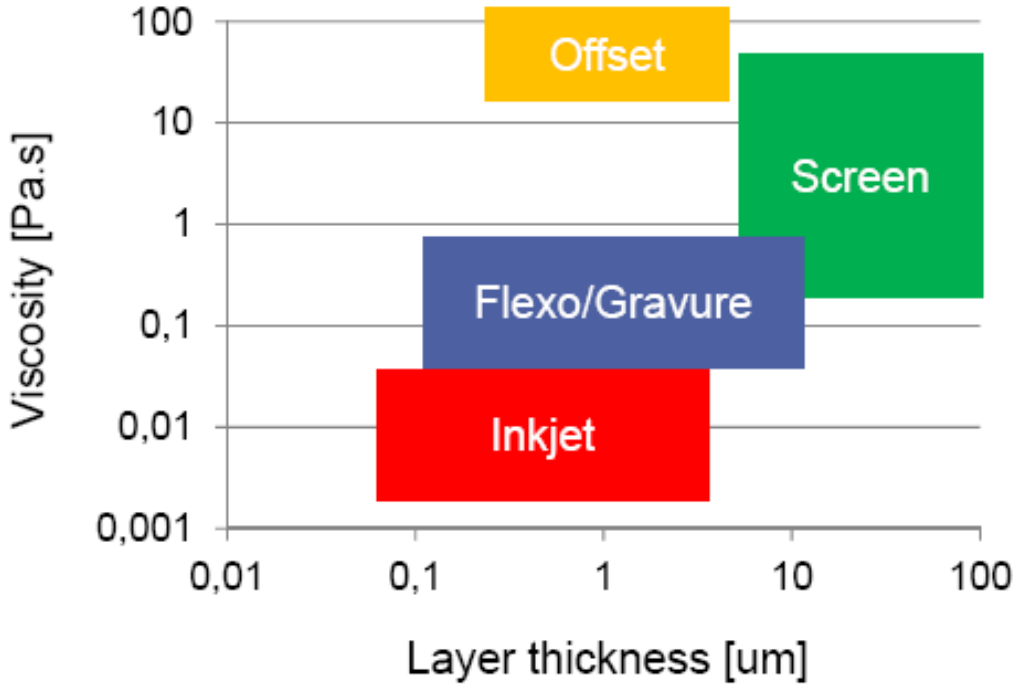
- Complejidad en el registro
- Volumen de producción medio cuando se hace hoja a hoja
- Interacción de espesores de capa en impresiones multicapa
- Una herramienta por diseño



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas.

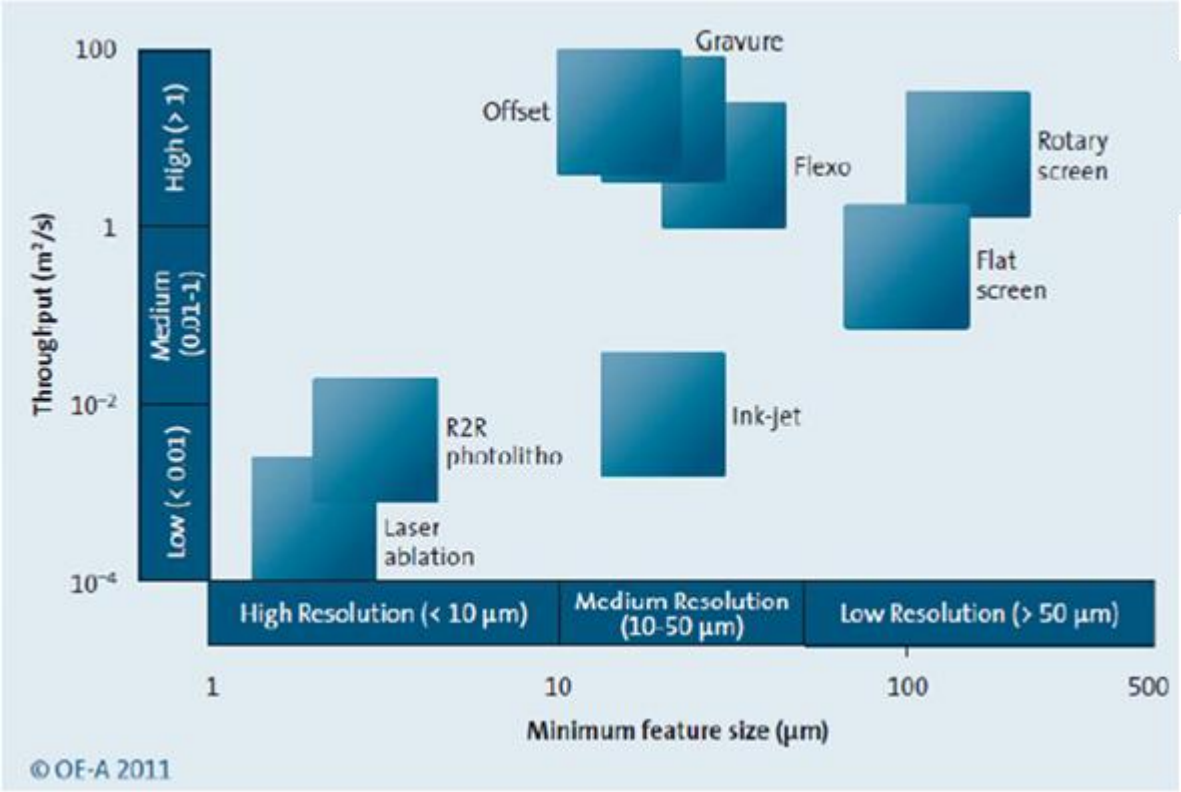
Comparación tecnologías de impresión: viscosidad vs espesor de capa



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas.

Comparación tecnologías de impresión: Velocidad vs resolución de impresión



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas.

Características de las tecnologías de impresión

Características tecnologías de impresión		Serigrafía	Flexo	Hueco	Inkjet
Espesor de capa	(micras)	6-50	1-10	1-8	0.01-0.5
Detalle (tamaño mínimo de impresión)	(micras)	50	40	30	10
Límites reológicos	Pas	1-50	0.1-1	0.05-0.2	0.001-0.04
Coste de imagen		2	2	5	
Durabilidad de imagen	5	1	2	5	
Costes de inicio	1	1	3	5	2
Costes de tirada	1	2	4	5	1
Rendimiento y eficiencia en tirada corta	5	5	2	2	5
Ratio de producción	5	2	4	5	1

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas.

CASO PRÁCTICO

Diseño de un sensor resistivo flexible

Queremos desarrollar:

- Sensor resistivo flexible
- Longitud activa: 80 mm
- Aplicación wearable
- Flexión repetida
- Temperatura de uso: 20–60 °C
- Producción media escala
- Coste ajustado

Especificaciones:

- Substrato flexible
- Resistencia objetivo: 1 kΩ
- Tolerancia ±10%
- Vida útil > 10.000 ciclos flexión
- Producción por serigrafía

Sustrato

PET ✗ ✗

Tinta

✓ Plata Carbono ✗

R = 1 kΩ

ρ = 2×10^{-4} Ω·m

Espesor: 15 micras

$$R = \frac{\rho L}{wt}$$

$\rho * L = (2\times10^{-4})\times(0{,}08) = 1{,}6\times10^{-5}$ m

$R * t = (1000)\times(15\times10^{-6}) = 15\times10^{-3} = 0{,}015$m

$w = 1{,}6\times10-5/0{,}015 = 1{,}066\ldots\times10-3$m

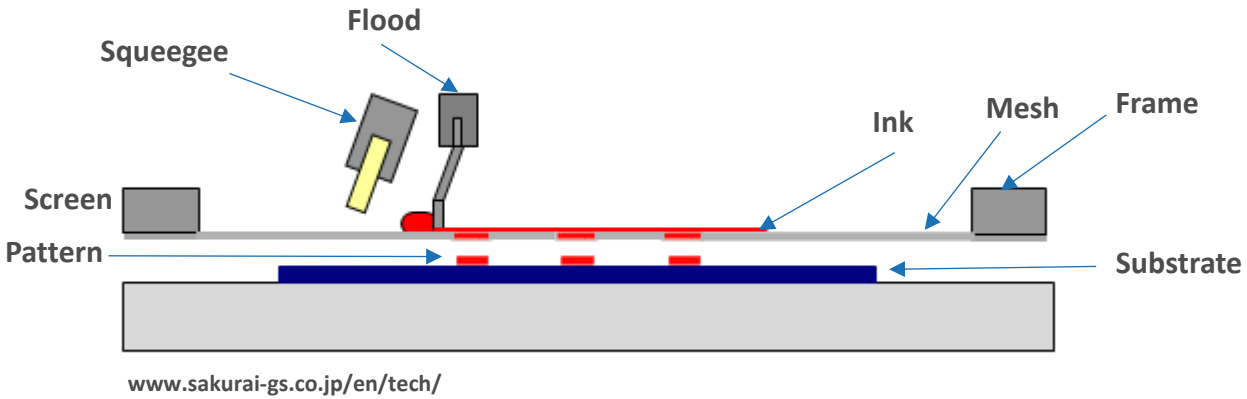
w= 1,07 mm

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Módulo 2 (II).
Serigrafía en electrónica impresa

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Fenómeno físico



Fenómeno 1 – Distorsión por tensado anisotrópico

La malla no deforma de manera uniforme

Fenómeno 2 – Deformación dinámica por presión de racleta

- La racleta presiona
- La malla se deflecta hacia el sustrato
- Se genera elongación local

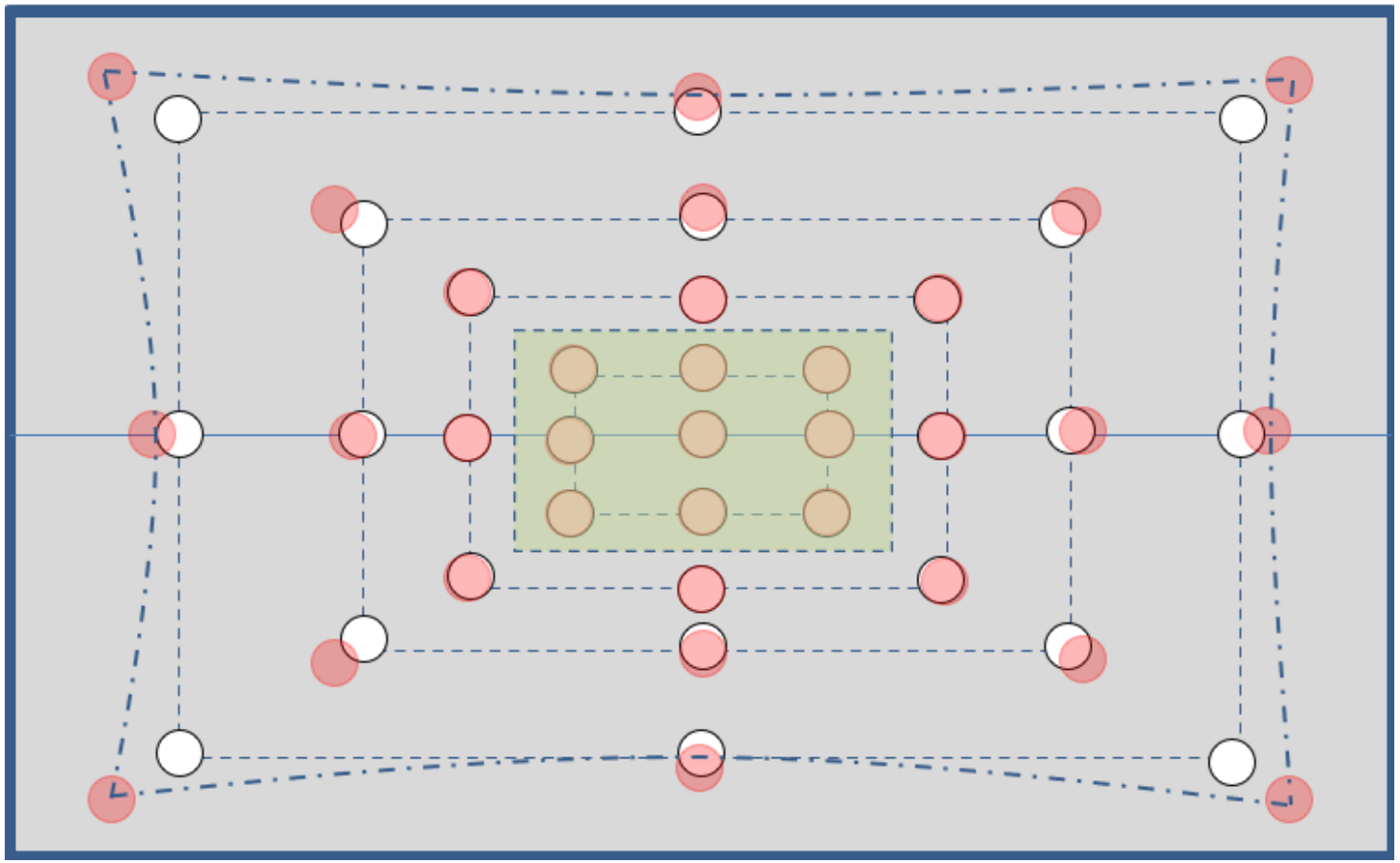
Fenómeno 3 – Separación no homogénea

Cuando la malla se separa:

- No recupera instantáneamente
- No recupera homogéneamente
- La zona central se comporta diferente que los bordes

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Marco



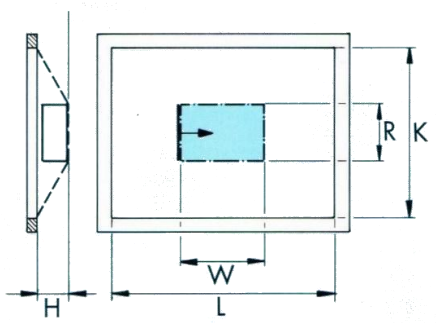
https://screenprintingmag.com/

El registro se hace más preciso puede mejorar utilizando un marco mayor para la misma imagen

Para sistemas de precisión se puede llegar a un marco entre un 3 y 5 veces mayor que el área de impresión.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

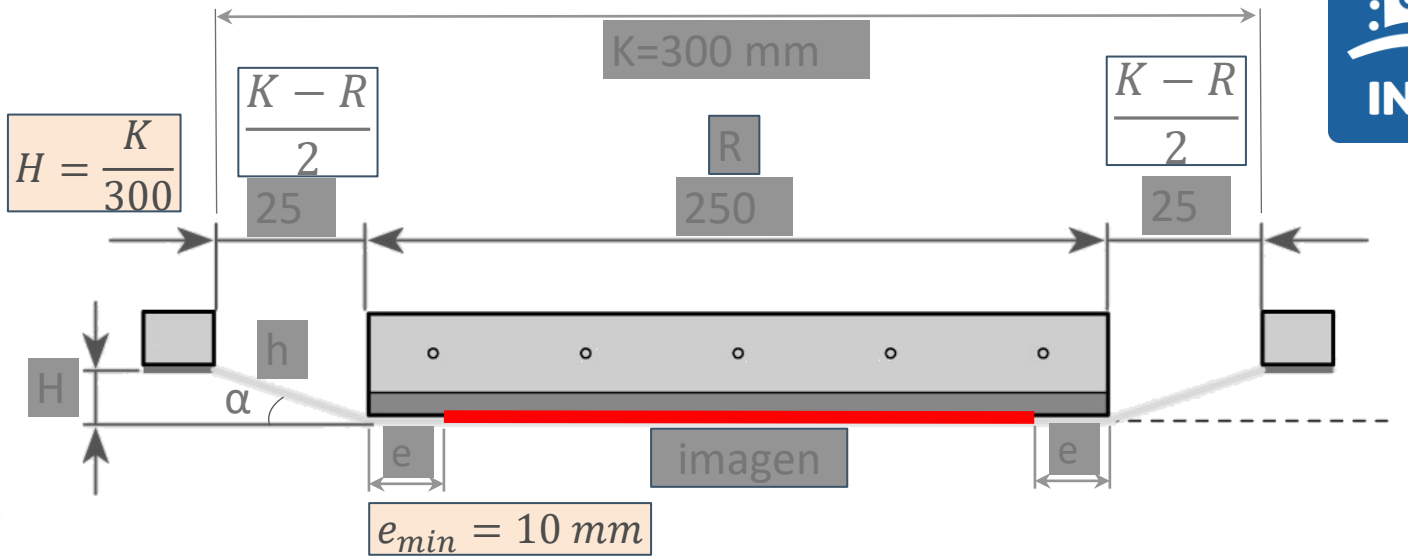
Marco



R = ancho de la racleta
W = recorrido de la racleta
H = «Fuera de contacto»

Marco de serigrafía:
K = aprox. 3×R
L = aprox. 2×W
H = aprox. (0.002–0.005)×K*

*K o L, el lado más corto



$$H = \frac{K}{300} = \frac{300}{300} = 1\ mm \qquad h = \sqrt{H^2 + \left(\frac{K-R}{2}\right)^2} = 35.014\ mm$$

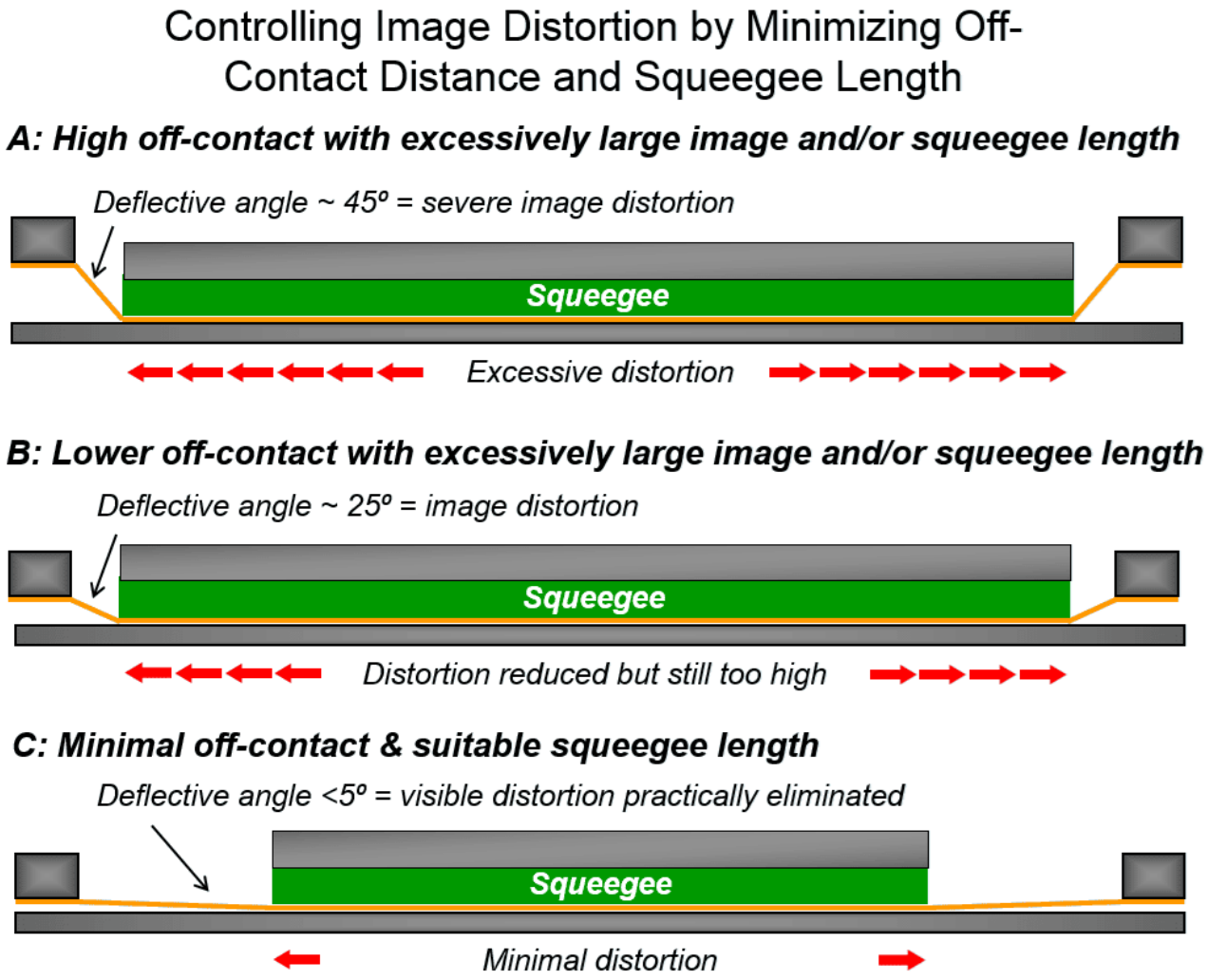
$$K_{dis} = 2 * h + R = 300.028\ mm \qquad Dis = K_{dis} - K = 0.028\ mm$$

$$Dis(\%) = \frac{Dis * 100}{K} = 0.009\%$$

https://screenprintingmag.com/

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Marco



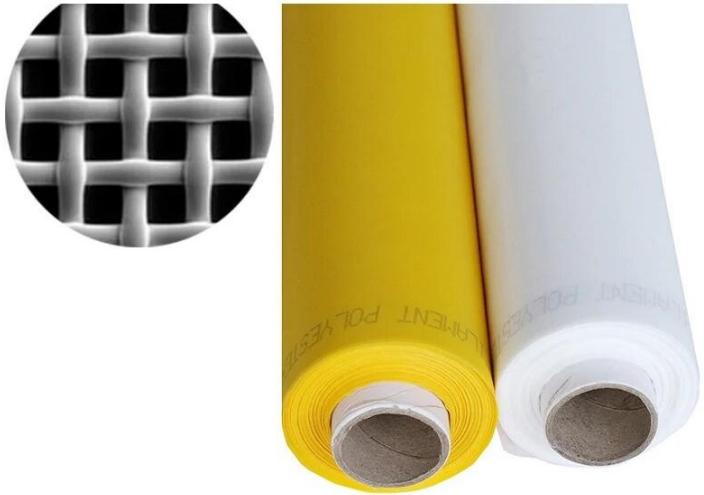
https://screenprintingmag.com/

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Tejido

Plásticos

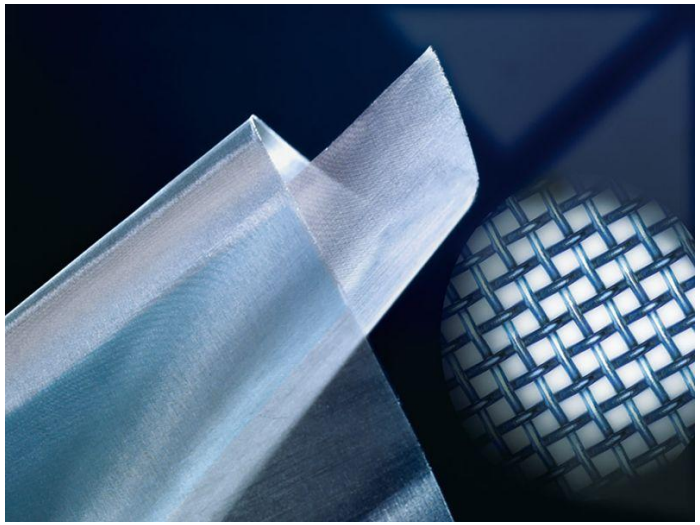
- Poliester [PET]
- Poliamida (Nylon) [PA]



Metálicos

- Acero inoxidable

wstyler



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Tejido

A mayor tensión menor distancia de fuera de contacto (snap off) y por lo tanto mayor precisión en la impresión ya que menos se deforma la tela

Poliéster
+ Alta resistencia al estiramiento.
+ Buena durabilidad mecánica.
+ Buena resistencia a la abrasión.
+ Insensibilidad a los factores climáticos.
+ Altamente resistente a los ácidos inorgánicos.
- Sensible a los álcalis: Las fibras pueden debilitarse hasta el punto de destruirse, dependiendo de la concentración, la temperatura y el tiempo de reacción

Acero inoxidable

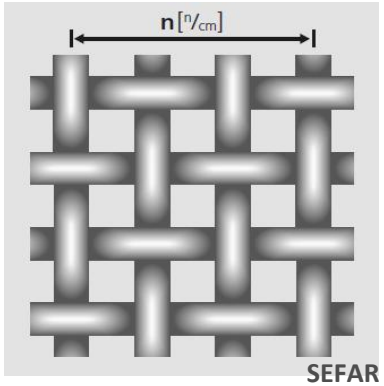
+ Alta tensión.
+ Muy Alta precisión
+ Alta flexibilidad.
+ Alta resistencia a la corrosión.
+ Gran resistencia a los solventes.
- Bajo alargamiento.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Tejido

Hilos por centímetro

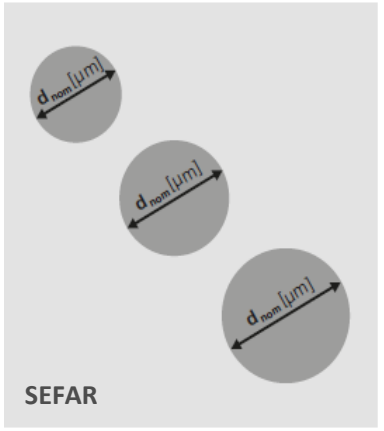
SEFAR® PET 1500										
Número de tejido	Número de hilos [/cm]	Número de hilos [/inch]	Diámetro nominal del hilo [µm]	Trama	Tolerancia del número del tejido [± n/cm]	Apertura del tejido [µm]	Área abierta [%]	Espesor del tejido [µm]	Tolerancia del espesor del tejido [± µm]	Volumen teórico de tinta [cm³/ m²]
51/131-70 PW	51	131	70	1:1	1.5	121	38	109	6	42



SEFAR

Diámetro de hilo

SEFAR® PET 1500										
Número de tejido	Número de hilos [/cm]	Número de hilos [/inch]	Diámetro nominal del hilo [µm]	Trama	Tolerancia del número del tejido [± n/cm]	Apertura del tejido [µm]	Área abierta [%]	Espesor del tejido [µm]	Tolerancia del espesor del tejido [± µm]	Volumen teórico de tinta [cm³/ m²]
51/131-70 PW	51	131	70	1:1	1.5	121	38	109	6	42



SEFAR

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

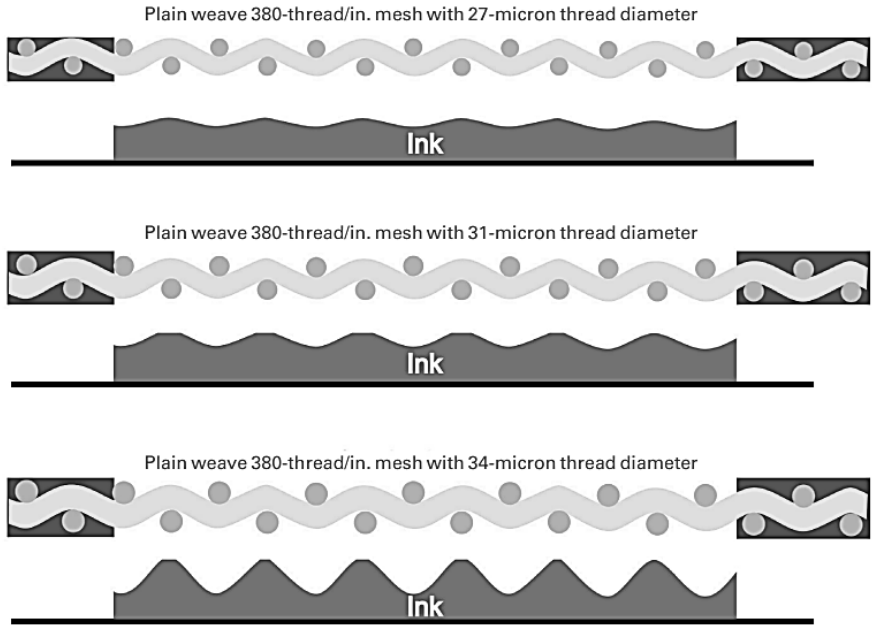
Tejido

- A mayor número de hilos
- A mayor diámetro de hilo

→ malla más tupida →

- Menor volumen depositado
- Mayor resolución

Crear mayor espesor de capa en base al diámetro del hilo puede conllevar problemas debido a las características de las tintas. Incremento de espesor por capas

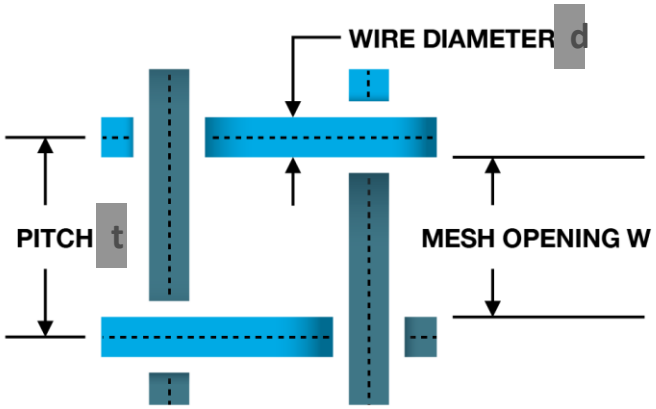


https://chromaline.com/

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Tejido

El **Mesh Opening** es la distancia entre dos hilos de la trama o de la urdimbre en micras



Mesh Master

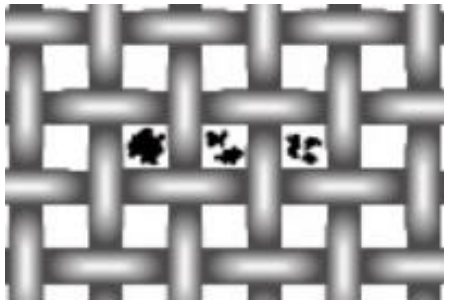
La apertura de malla rige:

- El tamaño máximo de partícula que se puede utilizar en una tinta de serigrafía.

La apertura de la malla afecta:

- El nivel de resolución de líneas.
- El espesor y el volumen de tinta.

Para una penetración adecuada de la tinta, el tamaño máximo de partícula de la tinta de serigrafía debe ser menor que 1/3 de la apertura de la malla.



SEFAR

SEFAR® PET 1500

Número de tejido	Número de hilos [/cm]	Número de hilos [/inch]	Diámetro nominal del hilo [µm]	Trama	Tolerancia del número del tejido [± n/cm]	Apertura del tejido [µm]	Área abierta [%]	Espesor del tejido [µm]	Tolerancia del espesor del tejido [± µm]	Volumen teórico de tinta [cm³/ m²]
51/131-70 PW	51	131	70	1:1	1.5	121	38	109	6	42

Resolución teórica: $A_{th} = \sqrt{2} \cdot t \cdot \frac{d}{w}$

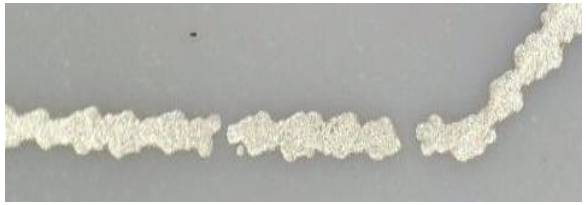
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Track 15 mils (381 µm)

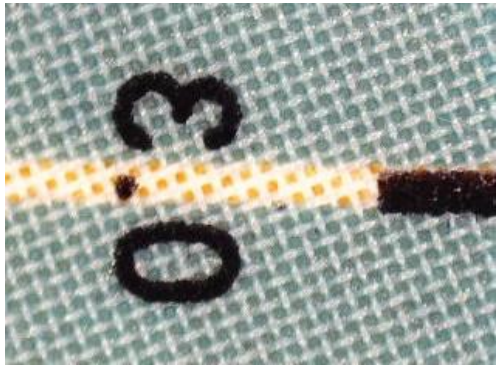
Número de tejido	Número de hilos [/cm]	Número de hilos [/inch]	Diámetro nominal del hilo [µm]	Apertura del tejido [µm]	Área abierta [%]
120/305-31 PW	120	305	31	49	35
77/195-48 PW	77	195	48	77	35

$$A_{th(120-31)} = \sqrt{2} \cdot t \cdot \frac{d}{w} = \sqrt{2} \cdot (31 + 49) \cdot \frac{31}{49} \approx 72\ \mu m \rightarrow t = 80\ \mu m\ (> 2t = 160 \mu m)$$

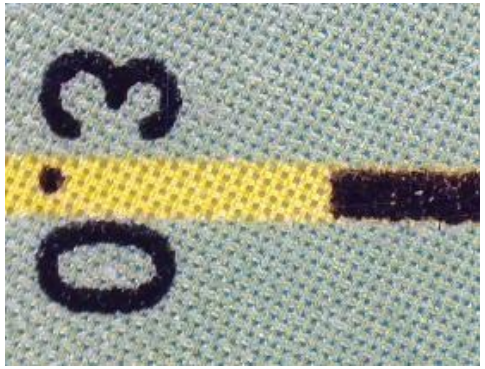
$$A_{th(77-48)} = \sqrt{2} \cdot t \cdot \frac{d}{w} = \sqrt{2} \cdot (48 + 77) \cdot \frac{48}{77} \approx 110\ \mu m \rightarrow t = 125\ \mu m (> 2t = 250 \mu m)$$



77/195-48 PW



120/305-31 PW





This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Tejido
Volumen teórico

SEFAR® PET 1500										
Número de tejido	Número de hilos [/cm]	Número de hilos [/inch]	Diámetro nominal del hilo [µm]	Trama	Tolerancia del número del tejido [± n/cm]	Apertura del tejido [µm]	Área abierta [%]	Espesor del tejido [µm]	Tolerancia del espesor del tejido [± µm]	Volumen teórico de tinta [cm³/ m²]
51/131-70 PW	51	131	70	1:1	1.5	121	38	109	6	42

$$Thickness = V_{th} \cdot \kappa_p \cdot \frac{c}{\rho}$$

c: concentración de materiales sólidos en la tinta (g/cm^3)
ρ: densidad del material (g/cm^3)
κ_p: pickout ratio. Valor experimental que define el volumen final impreso, descartando así el volumen que se queda en la pantalla.

Krebs, F. C. (2009). Fabrication and processing of polymer solar cells: A review of printing and coating techniques. Solar energy materials and solar cells, 93(4), 394-412.

% Área abierta

SEFAR® PET 1500										
Número de tejido	Número de hilos [/cm]	Número de hilos [/inch]	Diámetro nominal del hilo [µm]	Trama	Tolerancia del número del tejido [± n/cm]	Apertura del tejido [µm]	Área abierta [%]	Espesor del tejido [µm]	Tolerancia del espesor del tejido [± µm]	Volumen teórico de tinta [cm³/ m²]
51/131-70 PW	51	131	70	1:1	1.5	121	38	109	6	42

Se recomienda una tasa de apertura menor del 40 % para impresiones de líneas finas.

$$Thickness = D \cdot \mathrm{OA}$$

D = Espesor de tejido
OA= Open Area.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Emulsión

Micromax™ 5000
Electronic Inks and Pastes

Silver Conductor

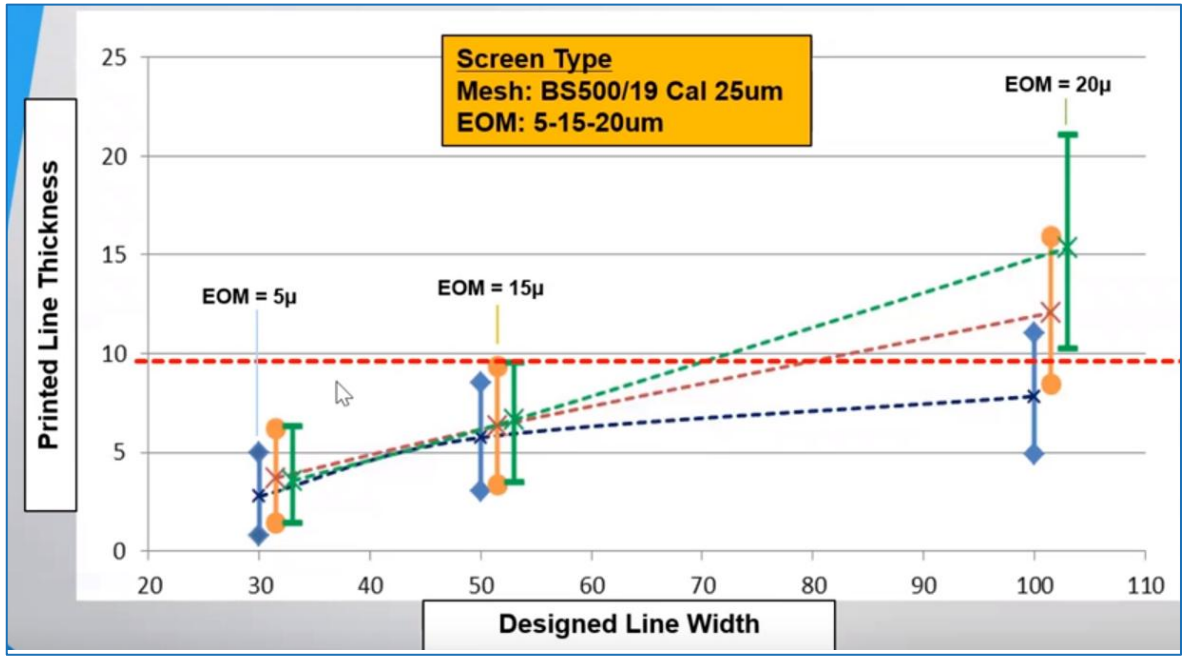
Application technique

Mask mesh	280[3]	
Drying time	8 - 10[4]	min
Drying temperature	120[4]	°C
Theoretical coverage	4.5[5]	cm²/g
Recommended film thickness, dried	8 - 9	µm

[3]: Screen Types: Stainless steel

DuPont™ LuxPrint® 7162
ELECTROLUMINESCENT MATERIALS

- ***Screen Types***
  Polyester: 77T-62T;
  20-25µm emulsion



Asada Mesh Master Class. 2021

SPEC	MESH COUNT	WIRE DIA. (mm)	SIEVE SIZE (mm)	OPENING RATE	THICKNESS(µm)			
					NORMAL	Calender		
						SOFT	MIDDLE	HEAVY
BS-500/16	500	0.016	0.035	47%	36 ± 2	25 ± 2	20 ± 1	16 ± 1
BS-500/19	500	0.019	0.032	39%	41 ± 2	30 ± 2	25 ± 1	19 ± 1

$T = 25*0.39 = 9.75\ \mu m$
$T_5 \approx 9.32\ \mu m$
$T_{15} \approx 12.32\ \mu m$
$T_{20} \approx 13.82\ \mu m$

A mayor espesor → Mayor separación con el sustrato →

- Despegue de la tinta más complejo
- Mayor volumen aportado
- Menor precisión en la impresión

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Squegee/Racle

- Dureza
- Forma del perfil
- Ángulo



- Volumen de tinta depositado
- Resolución de la imagen reproducida



https://www.vinilosyserigrafia.com/

- Dureza

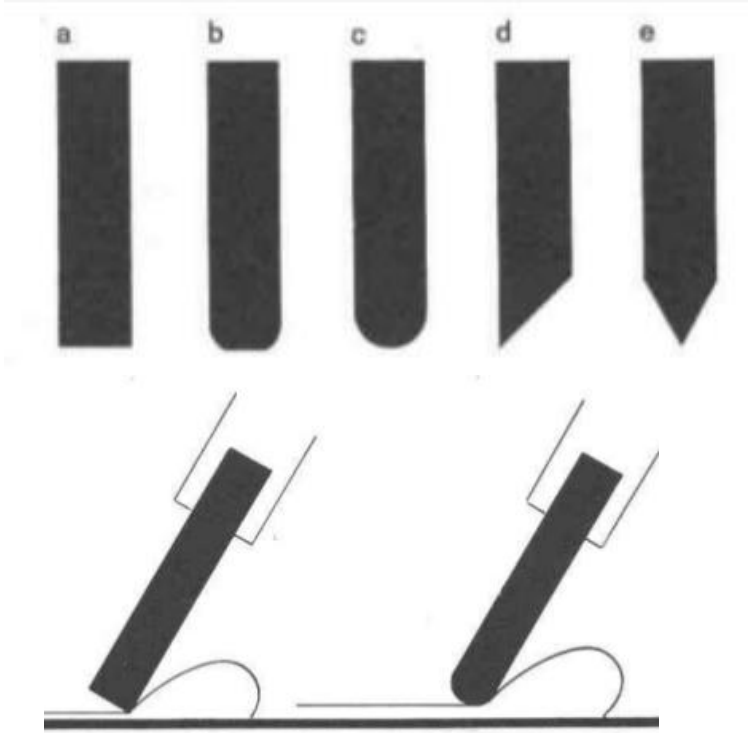
Una dureza alta (≈75^0) permite un mínimo depósito de tinta. Se utiliza con un numero mesh alto.
Una dureza baja (≈60^0) permite un mayor depósito de tinta.

Electrónica impresa → líneas finas →Se recomienda durezas por encima de 75^0.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Squegee/Racle

- Forma del perfil



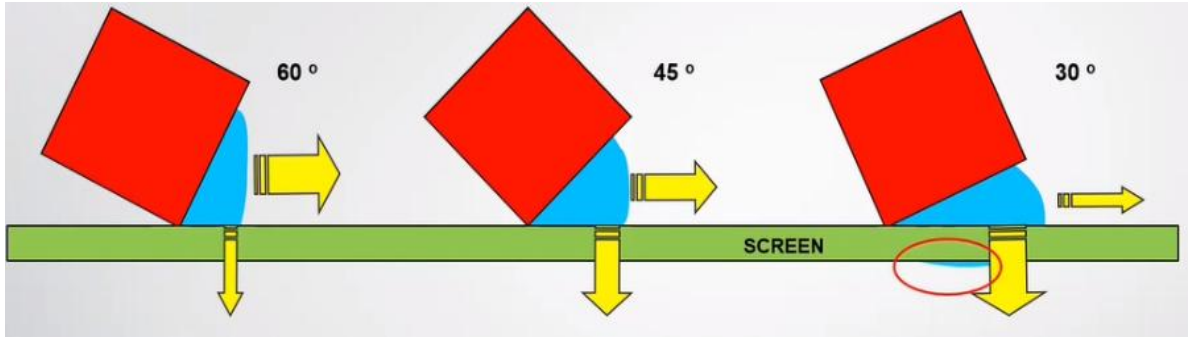
- Tipo a
  - Líneas finas
  - Alta resolución en la impresión
- Tipo b
  - Impresión con alto volumen de tinta
  - Menor resolución en impresión
- Tipo c
  - Impresión con mucha carga de tinta
  - Soportes textiles y porosos
- Tipo d
  - Impresión en soportes muy duros
    - Vidrio
    - Cerámica
- Tipo e
  - Impresión de piezas 3D
  - Impresión de formas redondeadas

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Squegee/Racle

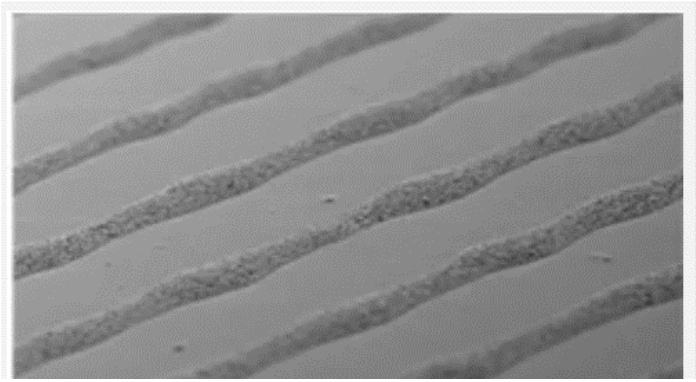
- Ángulo

Ángulos altos empujan más tinta por la pantalla que tinta la atraviesa.
Ángulos bajos fuerzan más tinta a través de la pantalla pero puede desbordarse el patrón.

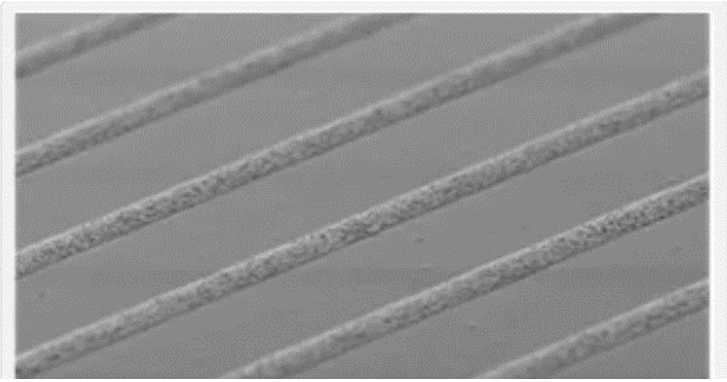


Asada Mesh Master Class. 2021

Para línea fina se recomienda entre 45 y 65



Ángulo 70º



Ángulo 50º

https://www.mino.co.jp/english/product/wscut_squeegee/

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

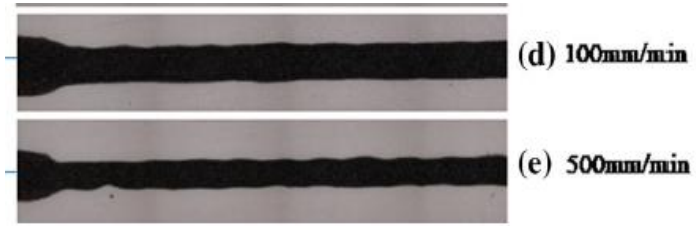
Squegee/Racle

- Velocidad de impresión

- La velocidad baja hace que la fuerza de llenado sea mayor
- La velocidad alta la hace más pequeña.
- Demasiada fuerza de relleno causa sangrado y muy poca, causa borrosidad.
- Velocidades bajan permiten un mayor espesor de impresión

Además la velocidad más adecuada está determinada por la viscosidad de la pasta



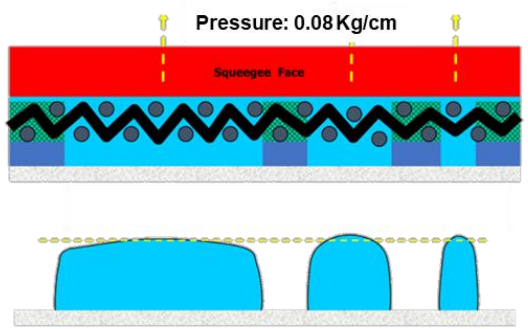


Los rangos suelen ir de 50 mm/s a 300 mm/s.

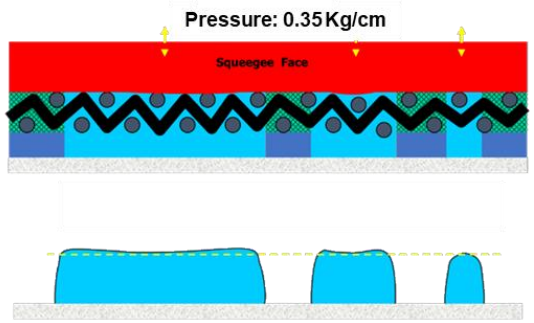
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Squegee/Racle

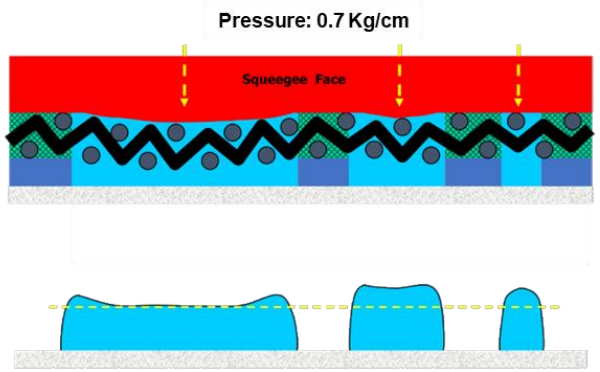
- Presión de impresión



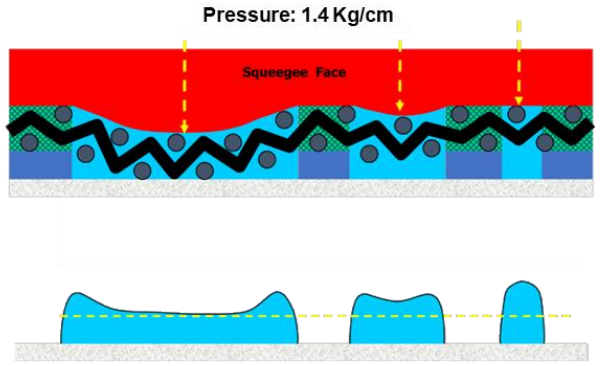
Extruding: Presiones muy bajas pueden provocar una excesiva aportación de tinta con una gran variación de aporte.



Scavenging: es el nivel de presión más bajo que producirá una deposición de espesor uniforme sin importar el ancho de la línea.



Low attack angle: conforme aumenta la presión se reduce el ángulo de ataque y se pueden producir deformaciones en las áreas de impresión mayores.



Compression: una muy alta presión reducirá el deposito de tinta.

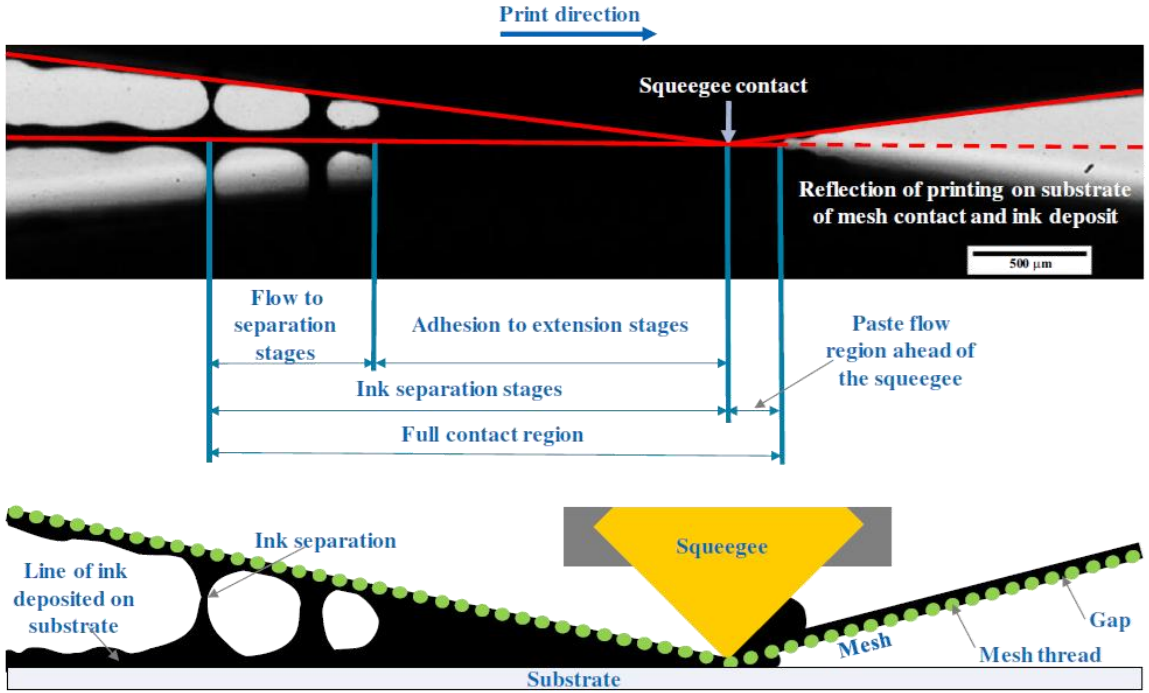
Asada Mesh Master Class. 2021

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Squegee/Racle

- Snap Off

Es la separación inicial entre malla y sustrato



Potts, S. J., Phillips, C., Jewell, E., Clifford, B., Lau, Y. C., & Claypole, T. (2020). High-speed imaging the effect of snap-off distance and squeegee speed on the ink transfer mechanism of screen-printed carbon pastes. *Journal of Coatings Technology and Research*, *17*(2), 447-459.

Suele utilizarse un valor de entre 1/200 y 1/500 del ancho interior del marco de la pantalla. El uso común es de 1/300

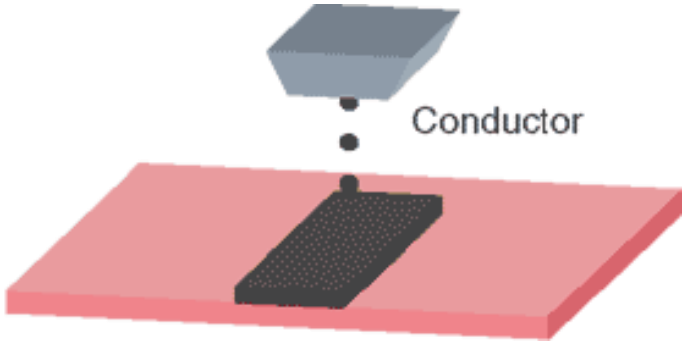
Pantalla de 740mm → Snap off 2,5 mm

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Impresión monocapa e impresión multicapa

Estructura monocapa





Variables relevantes

- Control de espesor
- Uniformidad

Sheet resistance. 10 mOhm/sq/mil

ρ=0,01×25,4×10−6 →2,54×10−7 Ω·m

Longitud L = 100 mm = 0,1 m
Ancho w = 200 µm = 2×10^{-4} m
Espesor t = 10 µm = 1×10^{-5} m

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

$$R = \frac{2,54 \times 10^{-7} \times 0,1}{2 \times 10^{-9}}$$

$$R = \frac{2,54 \times 10^{-8}}{2 \times 10^{-9}}$$

$$R = 12,7\,\Omega$$

Espesor t = 12 µm = 12×10^{-5} m

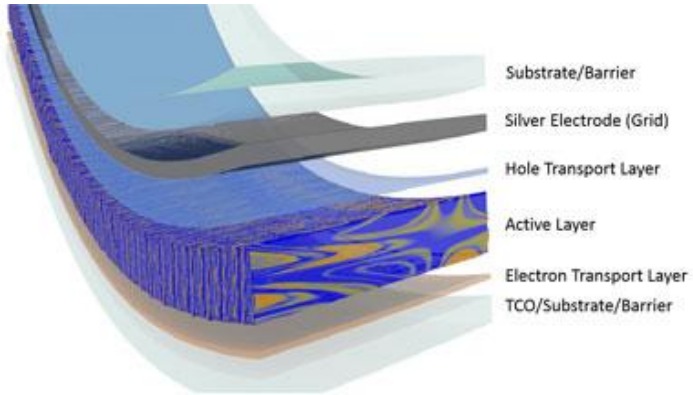
R= 10,6 Ω

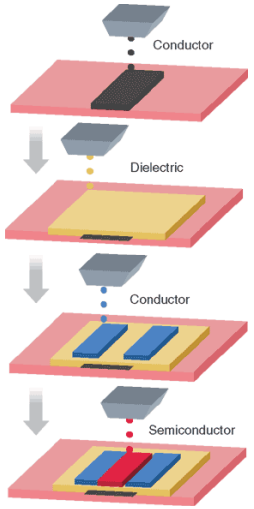
16,5 %

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Casos de ejemplo

Estructura multicapa





Impresión de un transistor

Variables relevantes

- Registro entre capas
- Contracción térmica acumulada
- Compatibilidad química
- Secuencia de curado

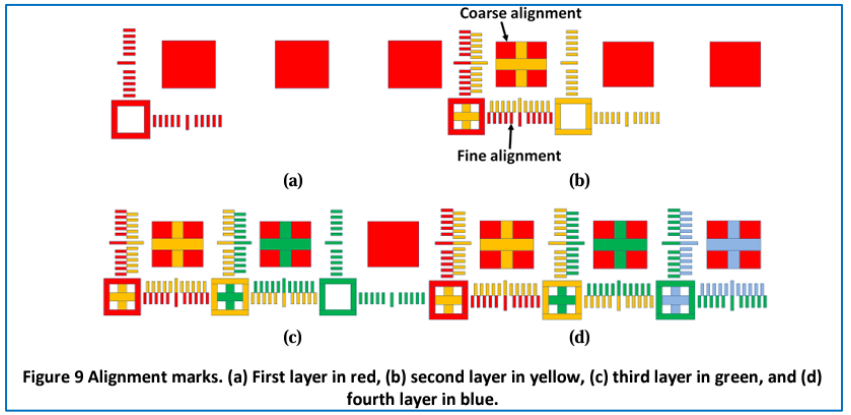


Figure 9 Alignment marks. (a) First layer in red, (b) second layer in yellow, (c) third layer in green, and (d) fourth layer in blue.

Dr. Yusha Bey . Notes for troubleshooting alignments

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

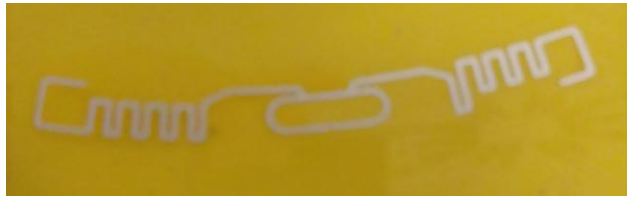
Impresión monocapa e impresión multicapa

Estructura monocapa

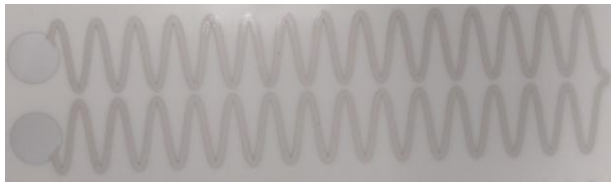


Sensores capacitivos

Sensores resistivos



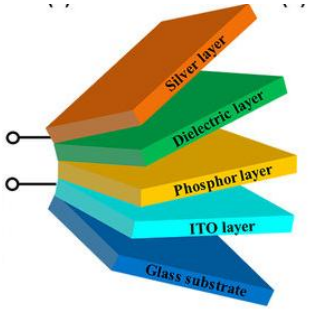
Antenas RFID



Sensores elongación

Estructura multicapa

Electroluminiscentes



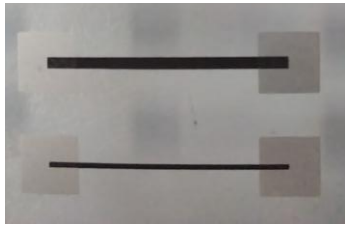


Sensores









Heaters



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Módulo 2 (III).
Procesos, defectos y aplicaciones

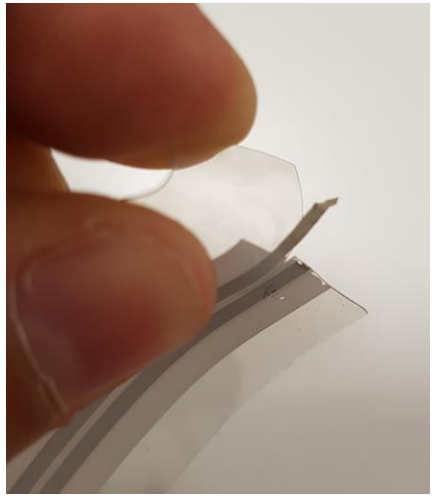
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Del diseño a producto funcional



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Del diseño a producto funcional





Factores del sustrato influyentes en los resultados de impresión:

1. Limpieza.

2. Propiedades mecánico- físicas.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Pretratamientos

1.- Limpieza

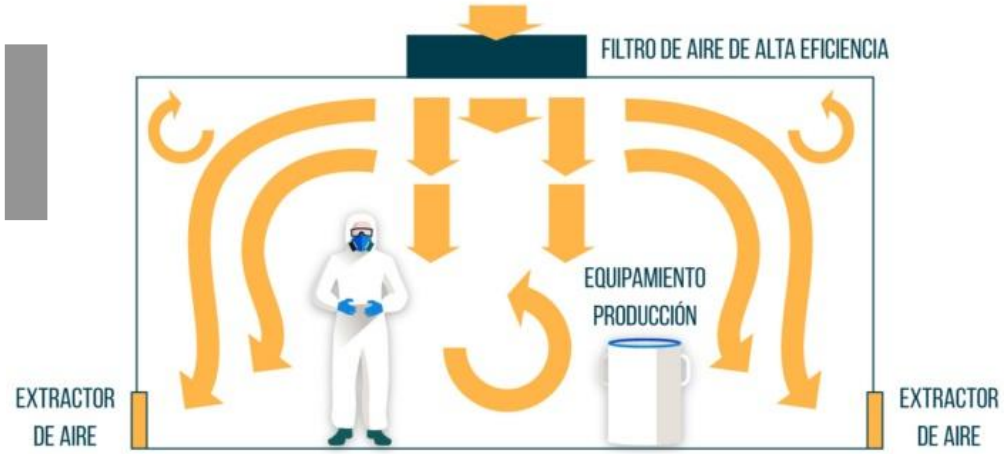
Sustrato plástico y ambiente libre de:

- Grasa
- Polvo
- Humedad
- Fibras

→

- Limpieza con paño y alcohol
- Industrial. Rodillos limpiadores.
- Extracción ambiente y localizada





This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

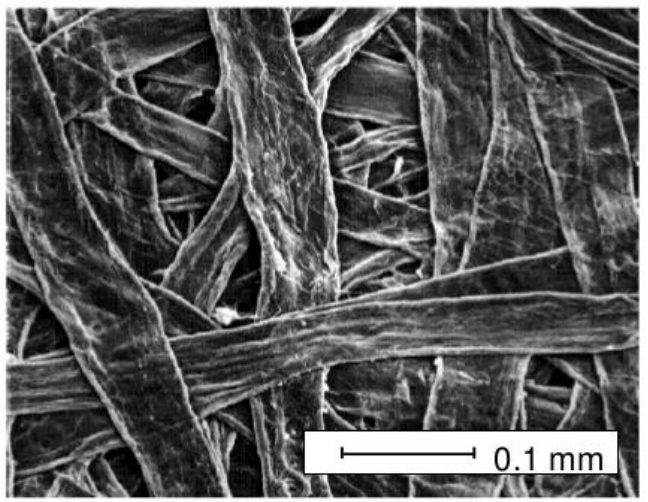
Pretratamientos

2. Propiedades mecánico-físicas

Sustrato ideal impresión → Sustrato poroso.

Garantiza penetración y anclaje

- Papel
- Cartulina
- Cartón
- ….



Fuente: https://www.slideshare.net/NelsonIzaguirre1/fibra-y-su-microscopia-sus-efectos-en-el-papel



Fuente: http://reprocentro.es/impresion-digital

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Pretratamientos

2. Propiedades mecánico-físicas



Fuente: http://www.innovamedios.es/

Sustrato plástico



Ventajas

- ✓ Flexible
- ✓ Resistente
- ✓ Transparente

Desventajas

- ✕ Porosidad nula
- ✕ Químicamente inerte
- ✕ Energía superficial baja

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Pretratamientos

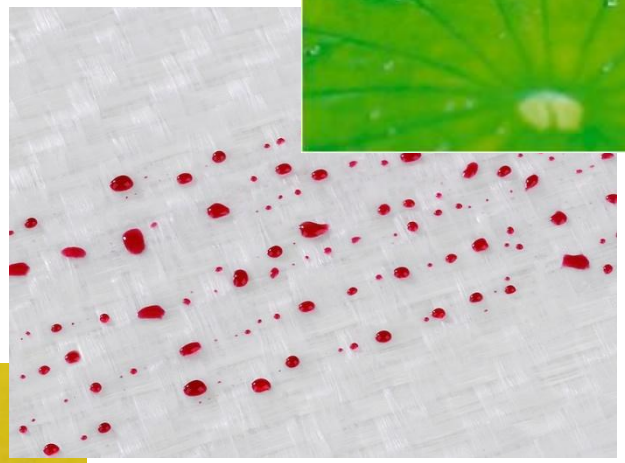
2. Propiedades físicas

- Defecto impresión “efecto loto”
  - Ensayo ángulo de contacto

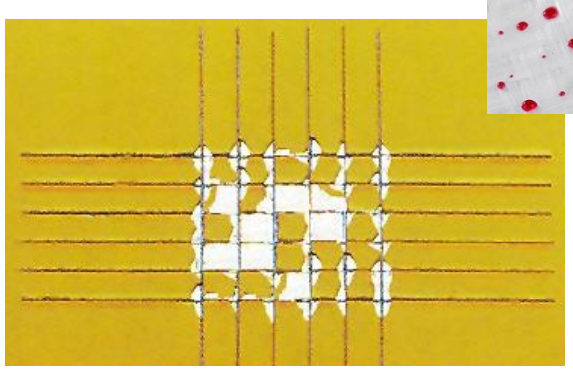


Fuente:http://atriainnovation.com/

- Falta de adherencia
  - Ensayo cinta cross-hatch



Fuente: https://www.plasmatreat.es



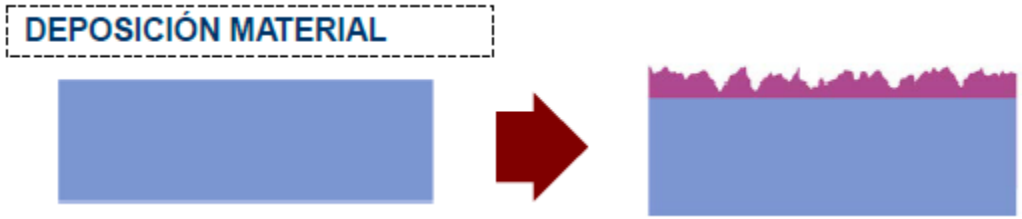
Fuente: http://www.barnizadoencoladomueble.com

This project has received funding from the European Union’s Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Pretratamientos

Tratamientos cambios físicos. Aporte de material

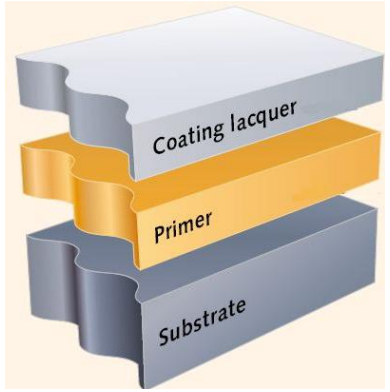
- Aplicación primer



Fuente: Máster en Tecnología de Materiales Poliméricos y Composites. Aimplas



Fuente: http://www.centro-zaragoza.com



Fuente: http://www.futurecoatings.co.uk

Ventajas

- ✓ Garantiza anclaje
- ✓ Menor costo

Desventajas

- ✕ Inestable en el tiempo
- ✕ Poco homogéneo
- ✕ No apto para todos los materiales plásticos.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Pretratamientos

Tratamientos cambios químicos.

El sustrato es irradiado mediante diferentes vías de actuación

Tratamiento radiación

- Tratamiento plasma:
  - baja presión
  - atmosférico
- Tratamiento plasma corona

Efecto. Modificación química y de energía superficial

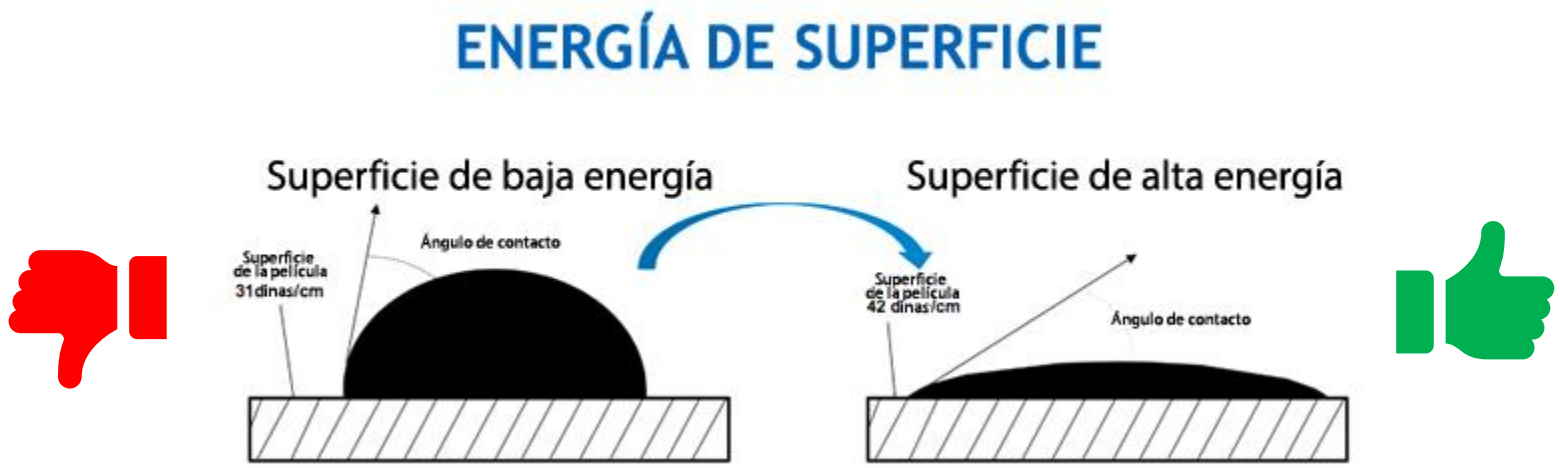
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Pretratamientos

Impresión.

Recomendable tensión superficial:

- 36-42 dinas/cm tintas base solvente
- 44-48 dinas/cm tintas base agua



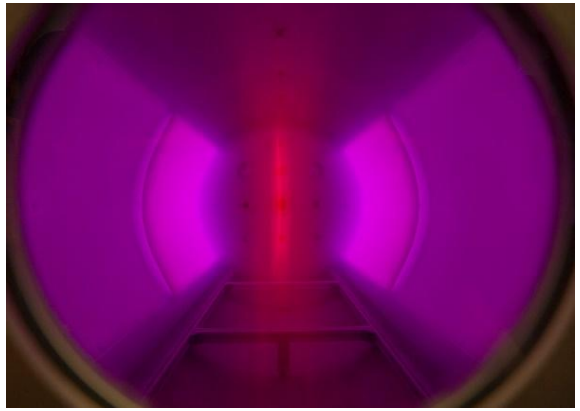
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Pretratamientos

Tratamiento Plasma



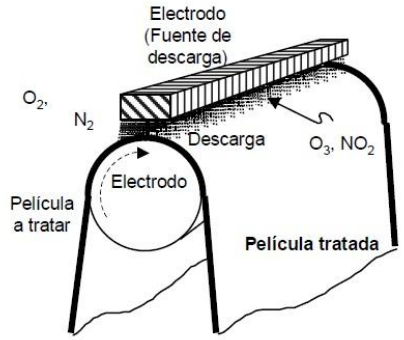
Fuente: http://www.rycobel.com/en/improve/surface-treatment/atmospheric-plasma/



Fuente:https://www.plasma.com/es/plasmatechnik/plasma-a-baja-presion/

Tratamiento Corona





Exposición del plástico a un gas ionizado mediante alto voltaje.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Pretratamientos

Efecto.

Modificación química por oxidación superficial y generación de cargas estáticas

Ventajas

- ✓ Aumenta tensión superficial
- ✓ Limpieza superficial de impureza
- ✓ Ecológica
- ✓ Alta rentabilidad
- ✓ Continuo

Desventajas

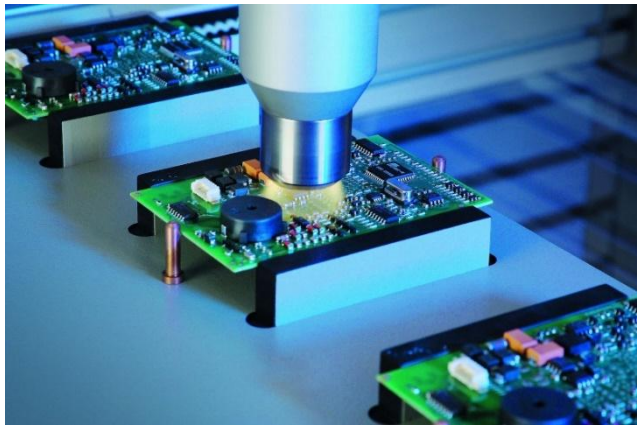
- × Menor efecto que el plasma. Menos cargas generadas
- × Requiere ajustes de potencia
- × No duradero.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Pretratamientos



Fuente: http://www.elempaque.com



Fuente: https://www.plasmatreat.es/tratamiento_con_plasma_aplicaciones_industriales.html



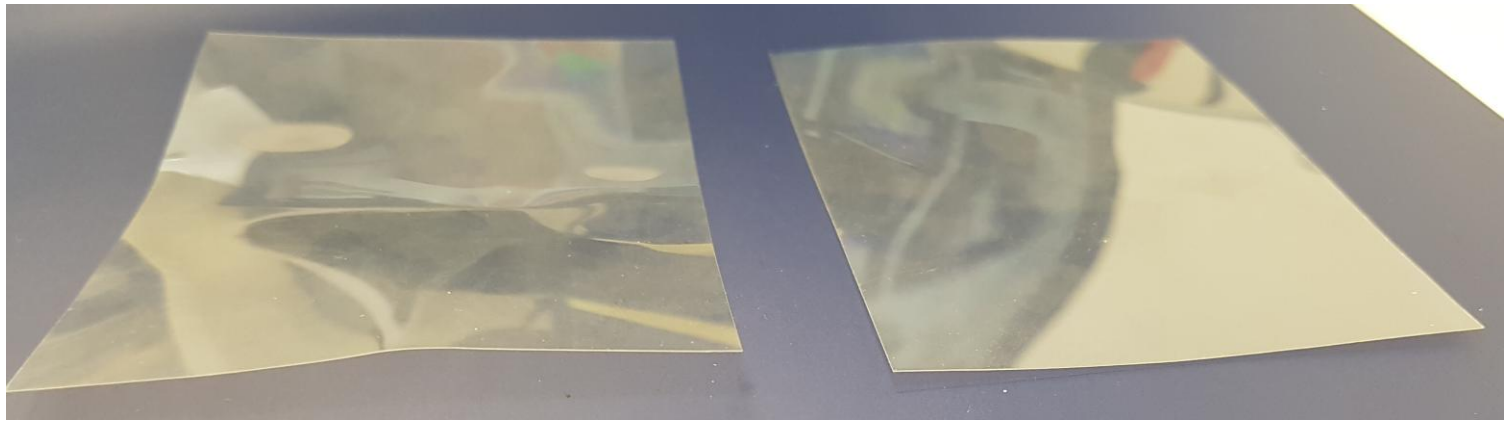
Fuente: http://www.directindustry.es/prod/kalwar-group/product-124261-1682048.html

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Pretratamientos

Estabilización térmica

Previo a la impresión, los materiales son sometidos al mismo proceso térmico que se aplicará cuando sean impresos. Las mismas condiciones de temperatura y tiempos



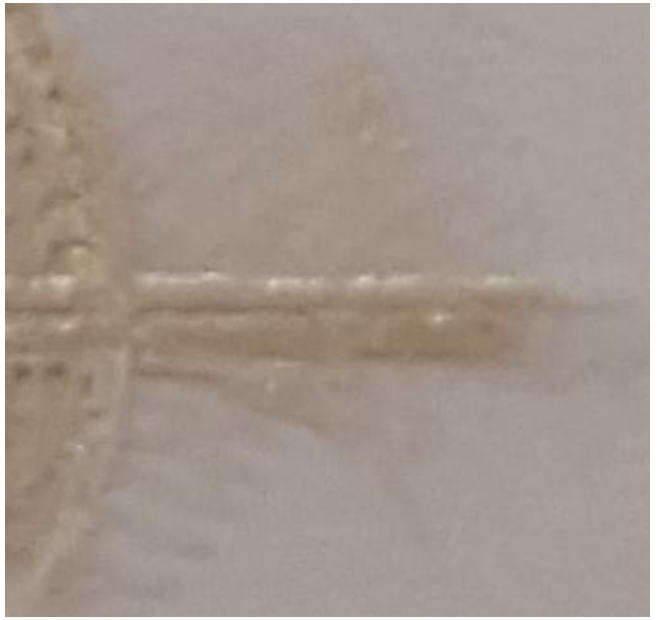
Fuente: Aimplas

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Postratamientos

Tras la impresión, la tinta:

- No permanece en el soporte
- No es funcional



Tratamientos de procesado de tintas funcionales impresas:

- Curado
- Sinterizado

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Postratamientos

Curado ≠ Secado

Secado: Evaporación de solvente

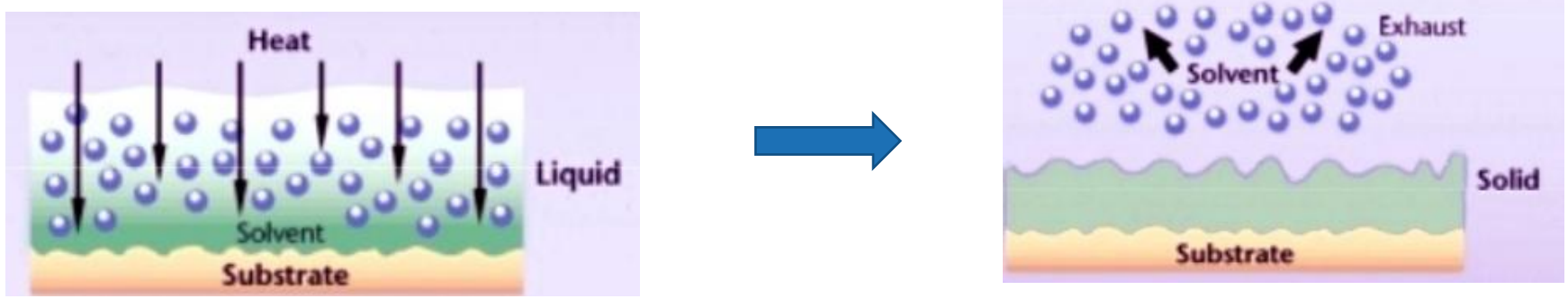
Curado: Proceso para la fijación de la tinta al sustrato y la creación de la red polimérica.

Térmico	Aplicación de calor • Horno convectivo • Infrarrojo.
Ultravioleta (UV)	Aplicación de radiación UV • Polimerización

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Postratamientos

Curado Térmico



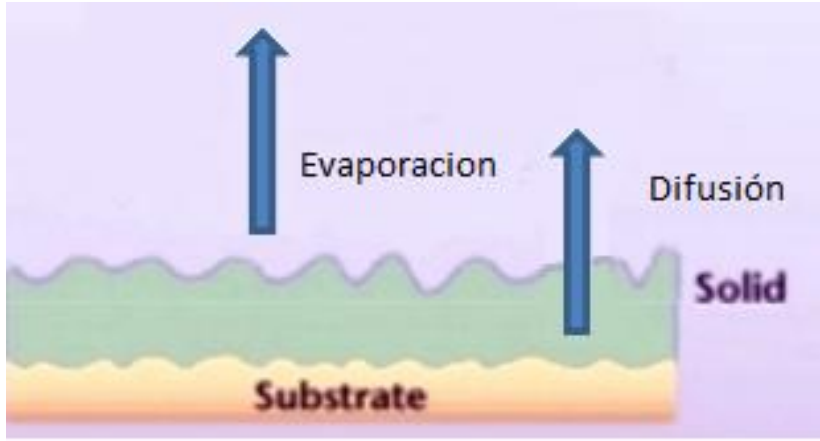
Tintas base solvente

- Eliminación de 35-45% de los solventes
- Resinas poliméricas, pigmentos y aditivos se asientan en el sustrato

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Postratamientos

Importancia del control de curado



Evaporación rápida + Difusión lenta → “hervidos”

- El disolvente líquido queda retenido en el interior de la tinta
  - Falta adherencia
  - No plenamente funcional

Evaporación rápida + Difusión rápida → secado inicialmente adecuado

Pueden aparecer tensiones internas por curado rápido → rotura de material

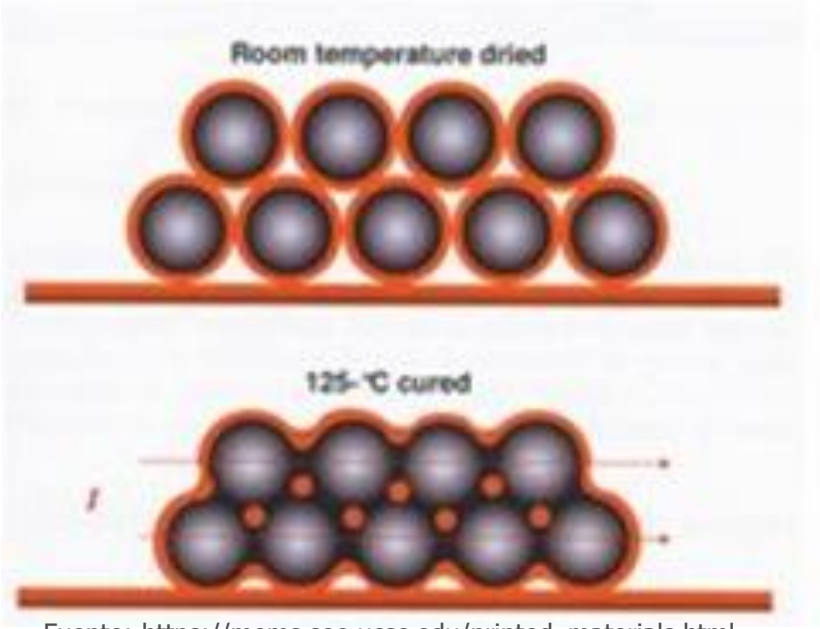
This project has received funding from the European Union’s Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Postratamientos

Sinterizado

Tratamiento para alcanzar la unión óptima de las partículas funcionales mediante la eliminación del máximo de componentes del vehículo de la tinta.

Mejor unión → mejor funcionalidad.



Fuente: https://mems.soe.ucsc.edu/printed_materials.html

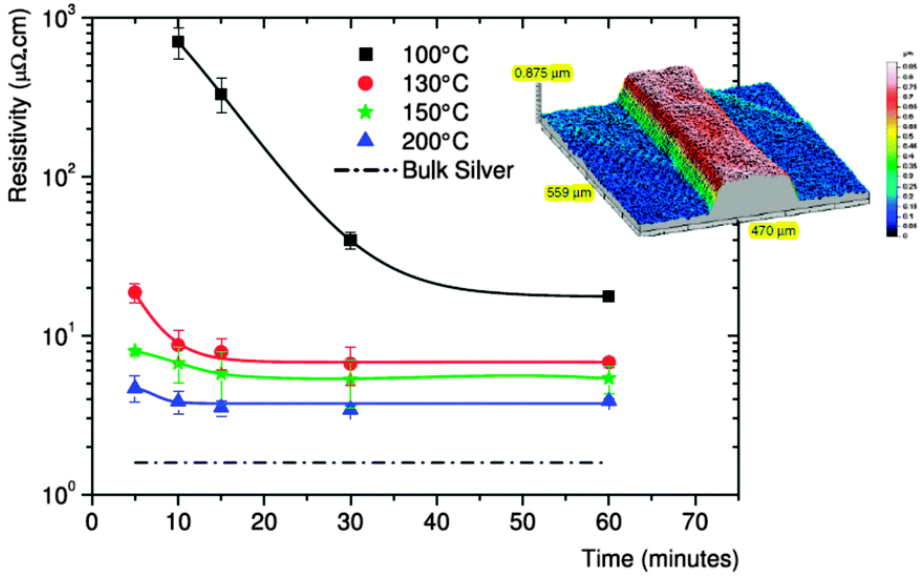
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Postratamientos

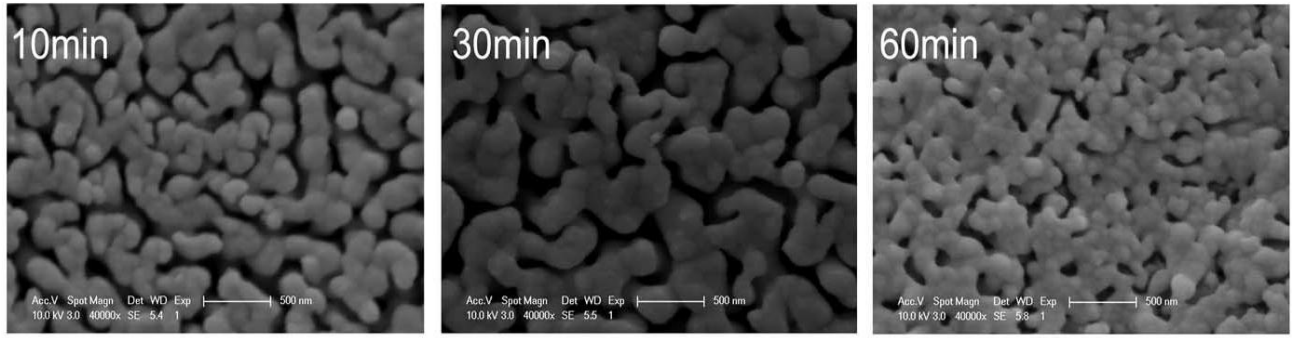
Sinterizado

Térmicamente

- Altas temperaturas → 100-200ºC
- Altos tiempos de procesado → 10-60 minutos



Fuente: "Precursor strategies for metallic nano- and micropatterns using soft lithography" F. M. Wisser, B. Schumm, G. Mondin, J. Grothe and S. Kaskel



Fuente: "Preparation, characterization and reaction mechanism of a novel silver-organic conductive ink" Yu Chang, Dong-Yu Wang, Yan-Long Taia and Zhen-Guo Yang

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

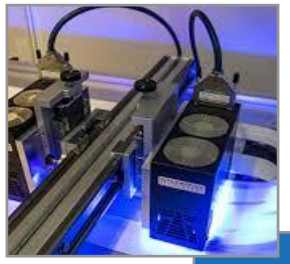
Postratamientos



Térmico

- PROS
- Tecnología madura.
- Altas temperaturas de curado.
- CONTRAS
- Altos consumos energéticos
- Limitación en capacidad productiva
- Limitación térmica de sustratos

Fuente: AIMPLAS



Ultravioleta

- PROS
- Alta rapidez de curado
- Ausencia calentamiento sustrato
- Aumento producción
- CONTRAS
- Estabilidad de la tinta limitada.
- Precio tinta y tecnología elevado.
- Igual porcentaje de plata menor conductividad

Fuente: Integration Technology Ltd



Fotónico

- PROS
- Curado inmediato
- Buena adherencia
- Buena conductividad
- CONTRAS
- Tecnología exclusiva
- Tecnología cara

Fuente: Novacentrix

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Postratamientos

Encapsulado y/o laminación

Aplicación de una tinta encapsulante de protección

- Protección humedad
- Protección polvo
- Protección al rayado





This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Caracterización de prototipos

Caracterización mecánica

Adherencia.

Para determinar la adherencia se puede aplicar lo establecido en IPC-TM-650 Método 2.4.1

Corte en X

Material:

- Cúter
- Cinta adhesiva 3M 600 o equivalente

Procedimiento:

- Se realizan dos cortes de 40 mm que se cruzan en un ángulo de 35-45º
- Se aplica la cinta firmemente sobre el corte. El tiempo entre la aplicación y la eliminación de la cinta debe ser inferior a un minuto.
- Se retira rápidamente la cinta en un ángulo 90º a la superficie
- Se observa visualmente y compara con tabla
- Se valora de 5A a 0A siendo:
  - 5A: Bordes suaves, sin desprendimiento.
  - 0A: Desprendimiento superior al 35% del área afectada



https://www.qualtechproductsindustry.com/

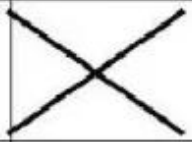
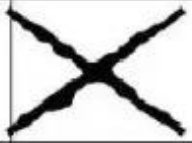


https://www.neurtek.com

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Caracterización de prototipos

Caracterización mecánica

CLASIFICACION	SUPERFICIE DESPUES DE LA PRUEBA	DESCRIPCION
5 A		Sin desprendimiento ni remoción.
4 A		Desprendimiento a lo largo de la incisión o intersección.
3 A		Rasgado de 1,6 mm a lo largo del corte en uno u otro lado.
2 A		Rasgado de 3,2 mm a lo largo del corte en uno u otro lado.
1 A		Remoción de la mayor parte del área de la X debajo de la cinta.
0 A		Remoción sobre el área de la X.

https://es.scribd.com/document/395358520/Ensayo-de-Adherencia-Corte-en-X-Metodo-A

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

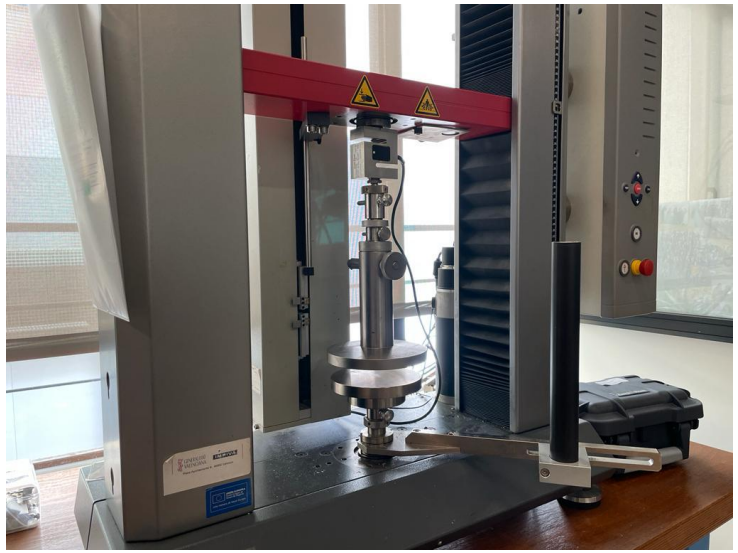
Caracterización de prototipos

Caracterización mecánica

Elongación flexibilidad

Máquina de ensayos universal:

- Ensayo de deformación
- Ensayo de deslaminación
- Ensayo de rotura





This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Caracterización de prototipos

Caracterización electrónica

La sheet resistance es el parámetro estandarizado para determinar la conductividad de una tinta.

Se mide en Ohm/Sq/Mil para que no este afectado dimensionalmente

Determinación.

Medición con equipo de 4 puntas

50 mOhm/sq

Medición de espesor de capa

5 µm

Cálculos

Regla de 3 inversa

5 µm → 50 mOhm/sq

25 µm → X

X= (50*5)/25 = 10 mOhm/sq/mil

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Caracterización de prototipos

Caracterización electrónica

Multímetro digital → Medir resistencia

Medición de cambio de voltaje

Medido LCR → Medir cambios de capacidad

Medir cambio en la impedancia → Sensores capacitivos cambios de respuesta

Antenas RF transmisión de señal

Osciloscopio → Sensores → respuesta a impactos rápido

Electroluminiscente → Medir la señal AC Aplicada (110-400 Hz)

En general → Permite detectar microcortes



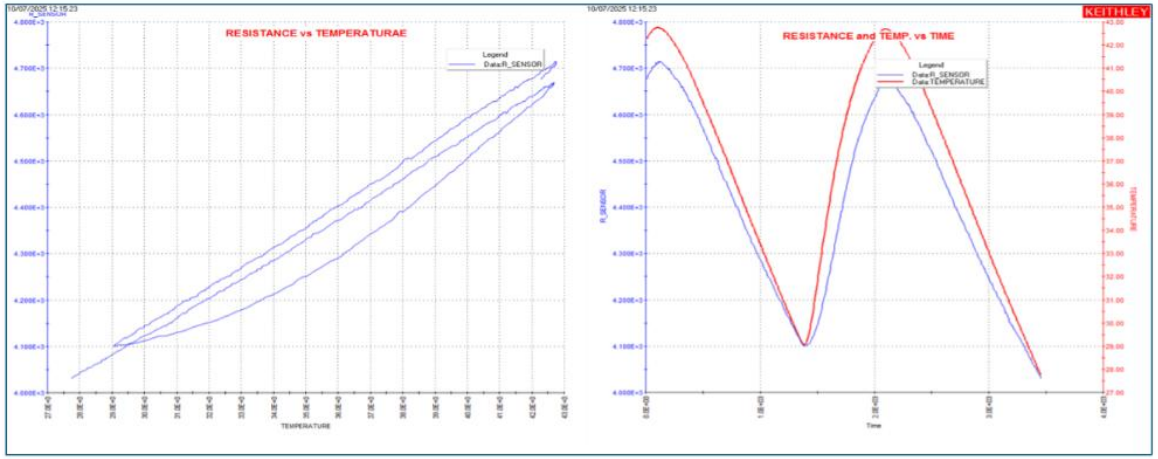
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Caracterización de prototipos

Caracterización funcional /envejecimiento

Cámara climática

- Ensayos de cambio de temperatura a humedad controlada
- Ensayo de cambio de humedad a temperatura controlada
- Ensayo de Envejecimiento acelerado por temperatura y humedad



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

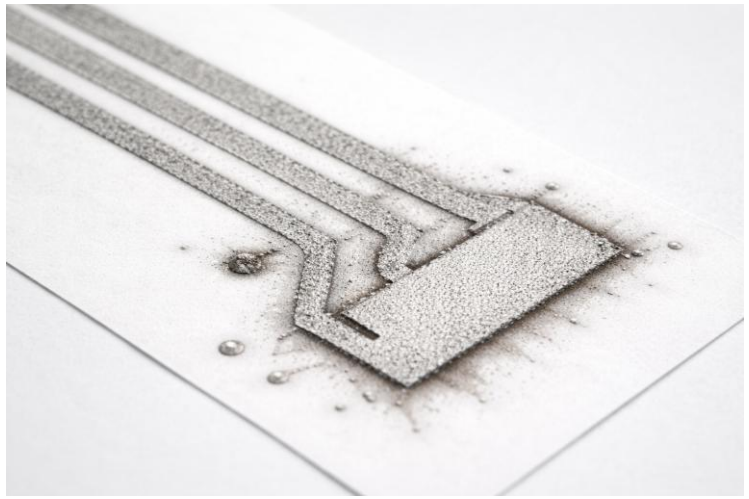
Defectos y errores.

Gran parte de fallos en electrónica impresa no son eléctricos. Son de proceso y material.

Bleeding

Qué es

Ensanchamiento de la pista o aparición de borrones.



Consecuencia

- Perdida de resolución
- Variabilidad de resistenca

Causas

- Tinta demasiado fluida
- Bajo ángulo de racle
- Baja velocidad de impresión
- Bajo snap off. La tinta no se “corta “bien

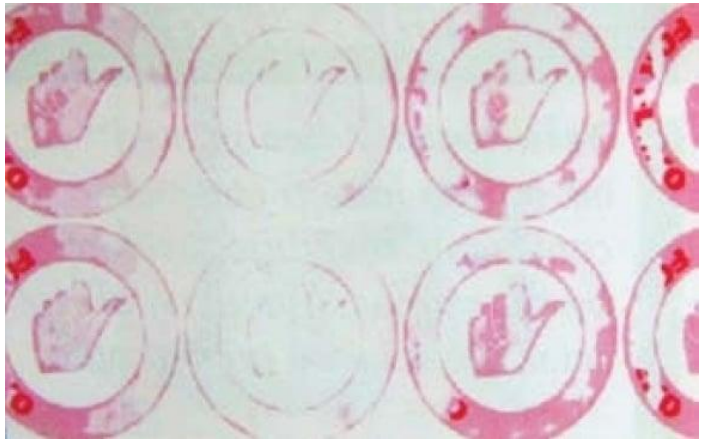
This project has received funding from the European Union’s Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Defectos y errores.

Coffe ring

Qué es

Los extremos del patrón son más intensos y más conductivos que la zona central.



Consecuencia

- Variacion de resistencia
- Baja repetibilidad

Causas

- Baja viscosidad de la tinta
- Alta volatilidad del solvente
- Secado lento o sin control

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Defectos y errores.

Gran parte de fallos en electrónica impresa no son eléctricos. Son de proceso y material.

Grietas post-curado

Qué es

Microfisuras en la pista tras secado o sinterización.



Consecuencia

- Aumento de resistencia
- Fallo en flexión
- Deriva eléctrica

Causas

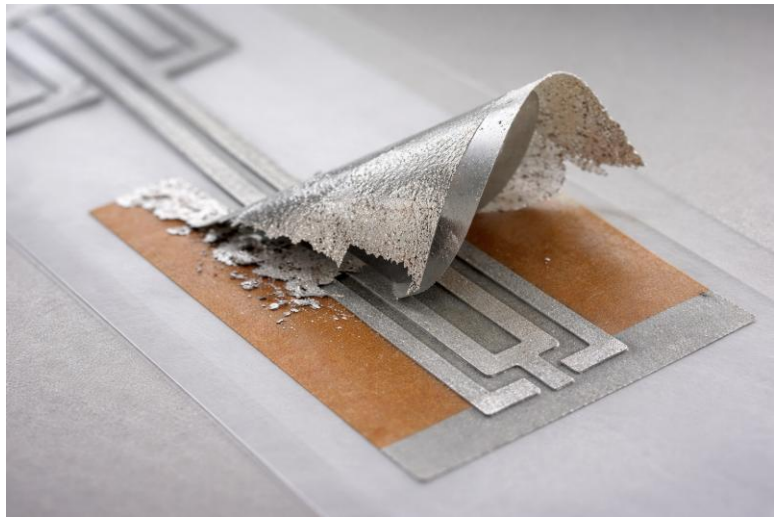
- CTE mal ajustado con sustrato
- Curado demasiado agresivo
- Binder insuficiente

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Defectos y errores.

Delaminación

Qué es
Separación entre tinta y sustrato o entre capas.



Consecuencia
- Pérdida total de funcionalidad
- Fallos intermitentes

Causas
- Energía superficial insuficiente
- Superficie contaminada
- Binder inadecuado
- Curado incorrecto

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Defectos y errores.

Bordes dentados



Malla? → Lineatura muy abierta o diámetro muy alto

Emulsión? → Demasiado espesor de emulsión

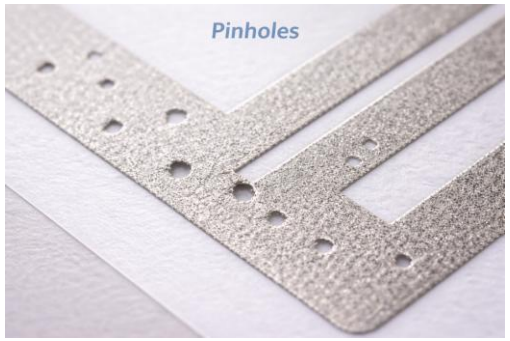
Presión? → Demasiado Presión → smearing lateral al paso del racle

Velocidad? → Baja velocidad con exceso de aporte → “Sangrado”

This project has received funding from the European Union’s Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Defectos y errores.

Pinhole



Sustrato? → Baja tensión superficial
Incompatibilidad química

Malla? → Lineatura muy abierta o diámetro muy alto

Alto volumen de transferencia
Hilos microcolumnas

Emulsión? → Demasiado espesor de emulsión

Presión? → Baja presión → Mal vaciado → Pinholes dispersos

Alta presión → Tinta se separa en zonas delgadas → Pinholes en zonas de alta definición

Velocidad? → Alta velocidad → tixotropía → pinholes en la dirección de impresión

Snap off? → Bajo → Contacto prolongado → tinta adherida a malla

Alto → Separación brusca → entrada de aire

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Defectos y errores.

Caso 1– Calentador impreso
Problema:
El calentamiento no es homogéneo

Causas probables:
- Diseño incorrecto. Geometría mal distribuida.
- Mallas mal seleccionadas
- Deposición de espesor no homogénea

Solución :
- Rediseño
- Modificación de pantallas
- Control del proceso

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Defectos y errores.

Casos prácticos

Caso 2 – Sensor flexible con deriva eléctrica
Problema:
La resistencia cambia tras 48 h.

La deriva con el tiempo normalmente no tiene una sola causa.

Vamos a analizarlo por bloques:

- Material
- Proceso
- Diseño

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Defectos y errores.

Casos prácticos

Caso 2 – Sensor flexible con deriva eléctrica
Problema:
La resistencia cambia tras 48 h.

Vamos a analizarlo por bloques:
• Material

¿Los materiales son estables para esa aplicación?

- Material sensible a humedad
  - Polímeros /sustratos
  - Tintas con alta porosidad
  - Materiales higroscópicos
  - Materiales sensibles a la temperatura
- Oxidación o contaminación superficial
  - Especialmente en interfaces metálicas

→ El sensor puede derivar porque el material cambia con el tiempo

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Defectos y errores.

Casos prácticos

Caso 2 – Sensor flexible con deriva eléctrica
Problema:
La resistencia cambia tras 48 h.

- Proceso

¿Se ha fabricado de forma suficientemente robusta y repetible?

- Curado inadecuado
  - Mal sinterizado
  - Aparicion microgrietas
- Contaminacion polovo o grasa
  - Deslaminación



El sensor puede derivar porque no se fabricó de manera homogénea

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Defectos y errores.

Casos prácticos

Caso 2 – Sensor flexible con deriva eléctrica

Problema:

La resistencia cambia tras 48 h.

Diseño

¿El diseño es robusto?

- Geometría demasiado crítica
  - Pistas muy finas
  - Diseño no considera la zona de flexion
- Mala ubicación de contactos
  - zonas con concentración de esfuerzo
- Ausencia de encapsulado o protección
  - exposición directa a humedad o contaminantes

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

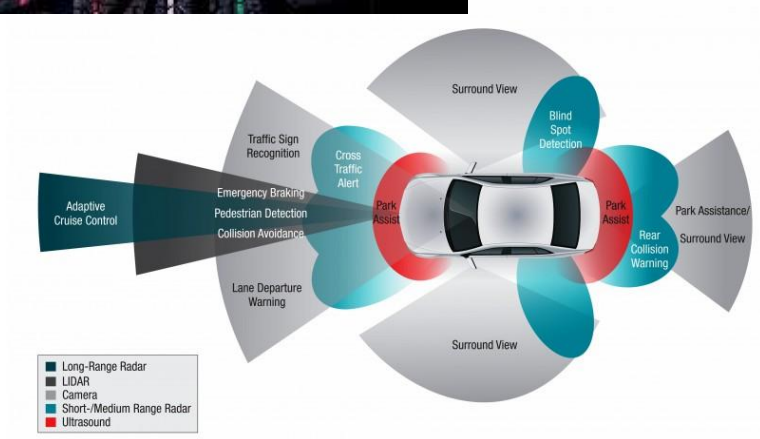
Aplicaciones

Automoción

- Pantallas táctiles
- Sensores de presión
  - Presión de neumáticos
  - Presión de fluidos
- Sensores de temperatura
- Sensores de proximidad
  - Apertura puertas
  - Aparcamiento
  - Colisiones
- Antenas RFID
  - SMART CITIES
  - Conducción autónoma







This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Aplicaciones

Sector bienestar

- Superficies sensibles a la presión
  - Sensorización de movimientos
  - Domótica
  - Superficies interactivas

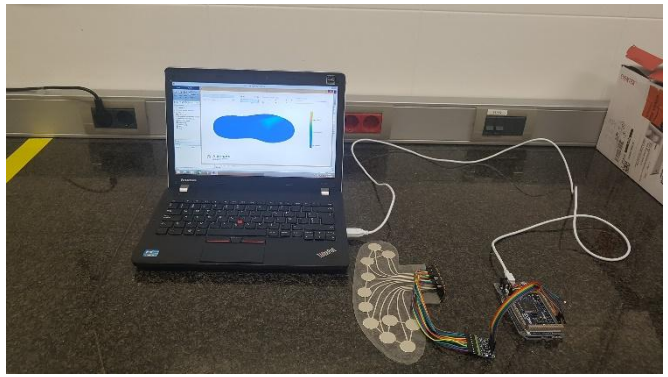
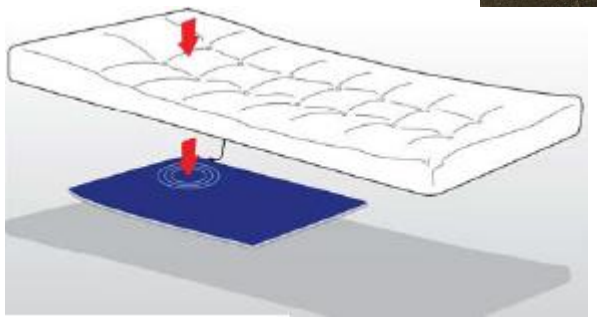




Lámina sensible a la presión





This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Aplicaciones

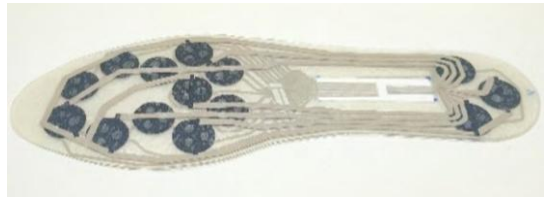
Sector Salud

- Sensores de presión y elongación
- Sensores de temperatura
- Sensores biométricos
- Sensores electroquímicos

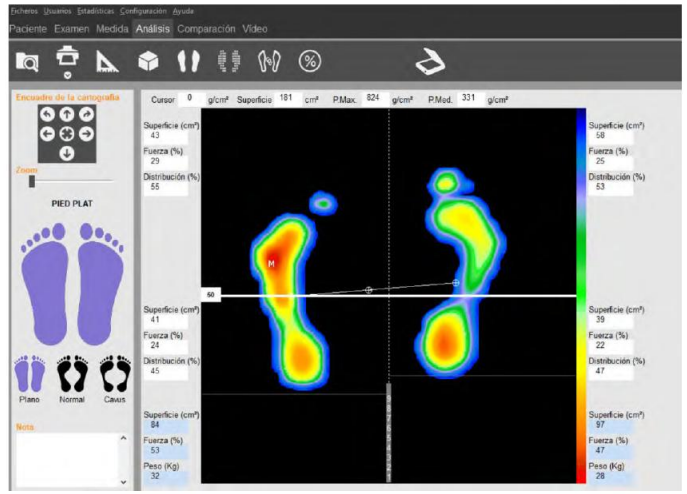




Fuente: www.holstcentre.com







This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Aplicaciones

Sector Packaging

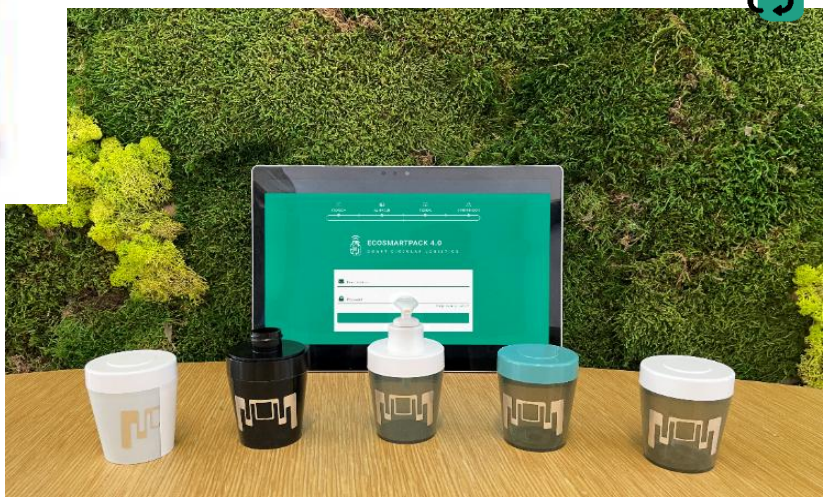
- Envase activo
  - Calentamiento
- Envase inteligente
  - Trazabilidad
  - Anti falsificación
  - Experiencia de usuario







https://www.electronicsweekly.com/



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Aplicaciones

Sector Defensa

- Sensores → Mantenimiento preventivo de armas
- Uniformes inteligentes
- EMI Shielding





Fuente: www.researchgate.com

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.



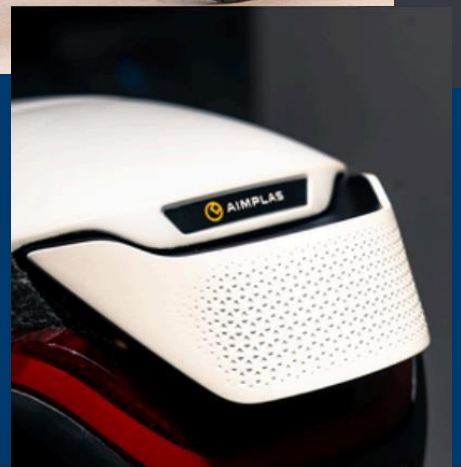
SCOOTECH

electric mobility

AIMPLAS







- **Sensores capacitivos integrados IME**
- **LED’s Hibridados integrados IME**
- **Heaters impresos 2D y 3D**
- **Sensores de presión en la base**



Módulo 3

Sensores electroquímicos

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

¿Que es un sensor electroquímico?

Un sensor electroquímico es un dispositivo que relaciona una reacción química con una señal eléctrica medible.

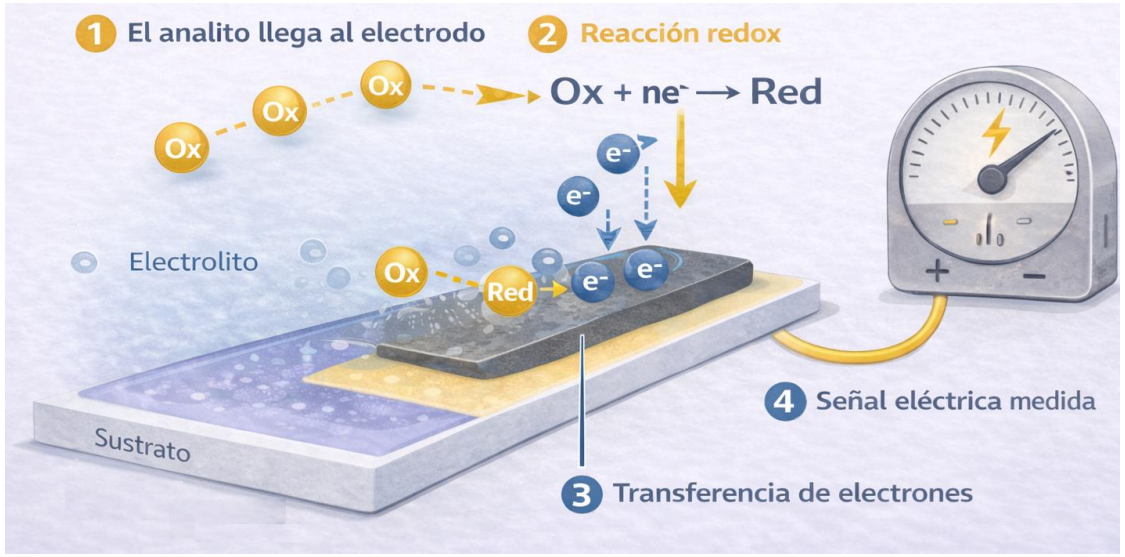
Es un dispositivo que:

- Detecta un analito (molécula objetivo)
- Genera una reacción química
- Transforma el intercambio de electrones en:
  - Corriente
  - Potencial
  - Impedancia

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

¿Que sucede en un sensor electroquimico?

Reacción electroquímica en la interfaz electrodo–electrolito



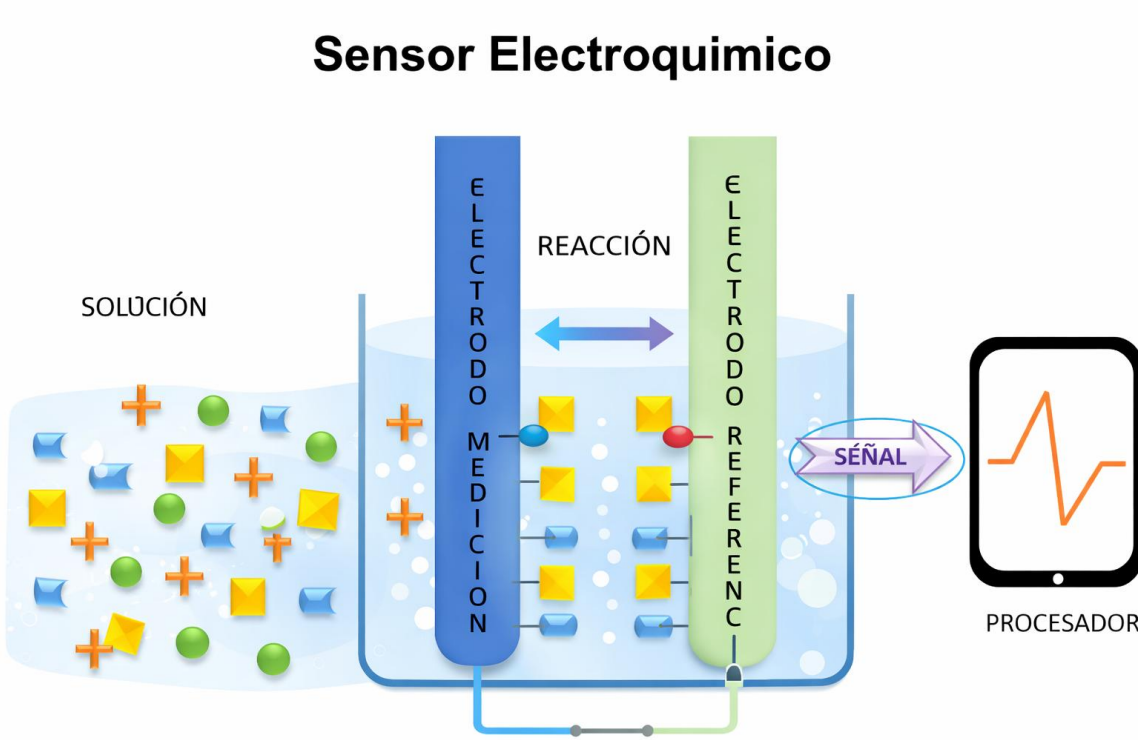
- Transporte del analito
  → Difusión desde el volumen del electrolito hacia el electrodo.
- Adsorción / acercamiento
  → El analito alcanza la superficie conductiva.
- Se produce la reacción
- Transferencia electrónica
  $Ox + ne^- \rightleftarrows Red$
- Generación de señal
  - Corriente (amperométrico)
  - Potencial (potenciométrico)

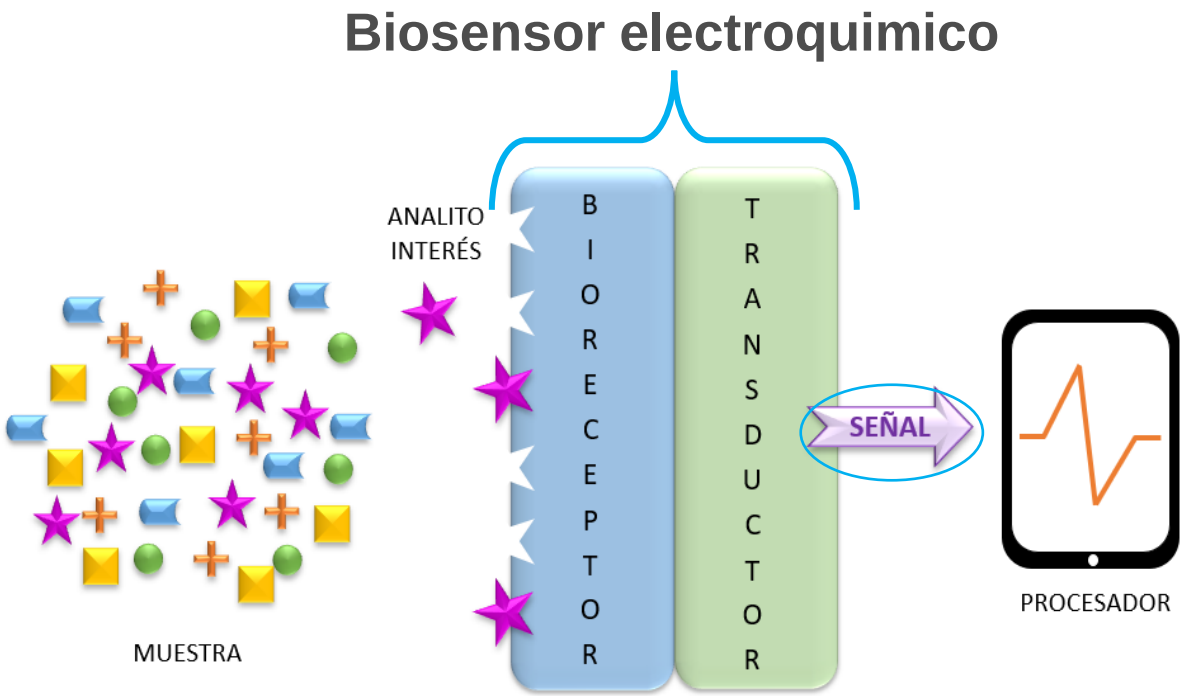
La señal no depende solo del analito, depende de la interfaz

Si modificamos la superficie del electrodo, modificamos la respuesta del sensor.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

¿Que sucede en un sensor electroquimico?





This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Elementos y tipos

BIORECEPTOR

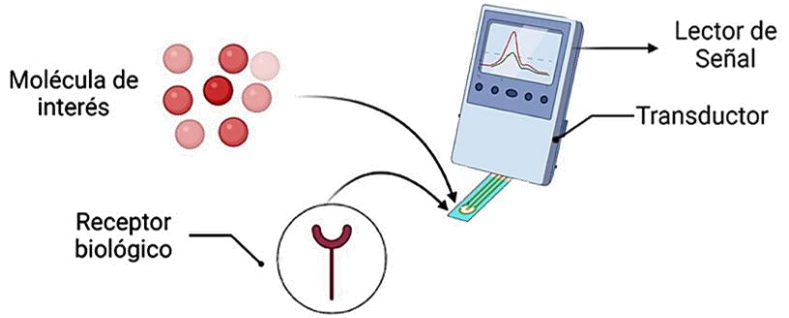
Elemento que interacciona de forma selectiva con el analito.

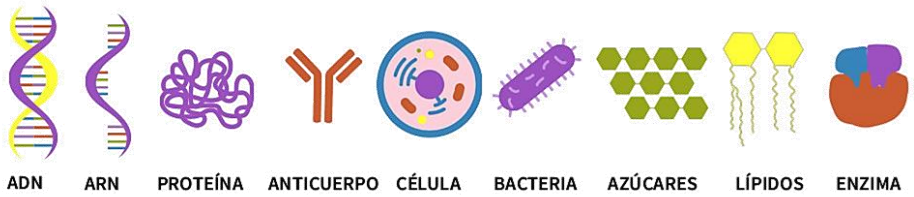
Siempre es un material de naturaleza biológica.

- Enzimas → Sensores enzimáticos
- Anticuerpos → Inmunosensores
- ADN
- ARN

} Genosensores o detectores de ácidos nucleicos

- Tejidos de animales y plantas
- Receptores de membrana
- Células





This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Elementos y tipos

TRANSDUCTOR

Es el encargado de convertir en una señal el cambio físico o químico que se produce como consecuencia de la interacción entre el analito y el receptor.

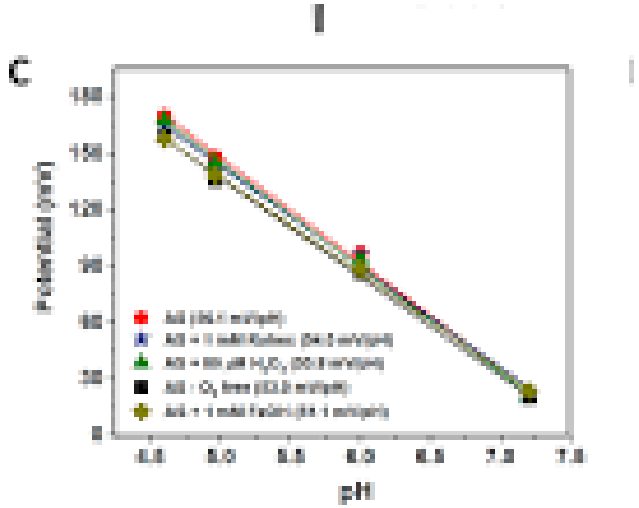
La señal generada es proporcional a la concentración de analito.

Tipos de transductores:

Potenciométricos

Diferencia de potencial entre:
- Electrodo indicador
- Electrodo de referencia

Mide cuando se ha producido el equilibrio
No es necesario forzar la reacción
La señal es proporcional a la concentración de H+
Ejemplo: Sensor de pH



$$CH_3COOH \rightleftharpoons H^+ + CH_3COO^-$$

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

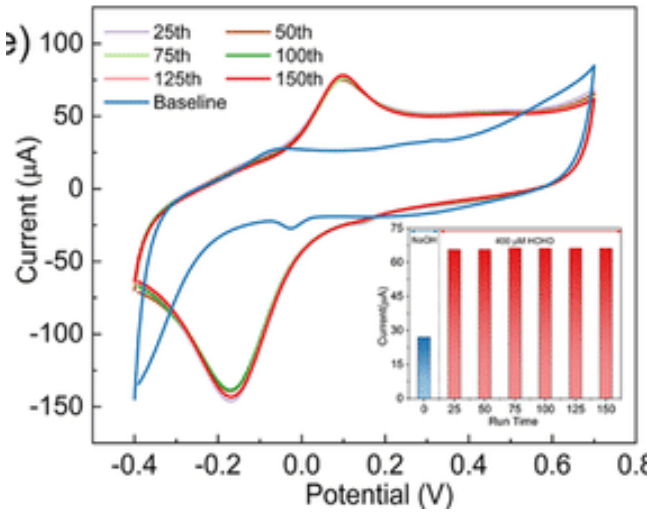
Elementos y tipos

TRANSDUCTOR

Es el encargado de convertir en una señal el cambio físico o químico que se produce como consecuencia de la interacción entre el analito y el receptor.

La señal generada es proporcional a la concentración de analito.

Tipos de transductores:



Amperométricos
Mide la corriente generada por reacción redox bajo potencial aplicado.

Mide velocidad. Se fuerza la reacción.

Corriente ∝ log concentración del analito

Ejemplo: Sensor de glucosa.
La oxidación de la glucosa produce un cambio en la señal electronica

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Elementos y tipos

TRANSDUCTOR

Es el encargado de convertir en una señal el cambio físico o químico que se produce como consecuencia de la interacción entre el analito y el receptor.

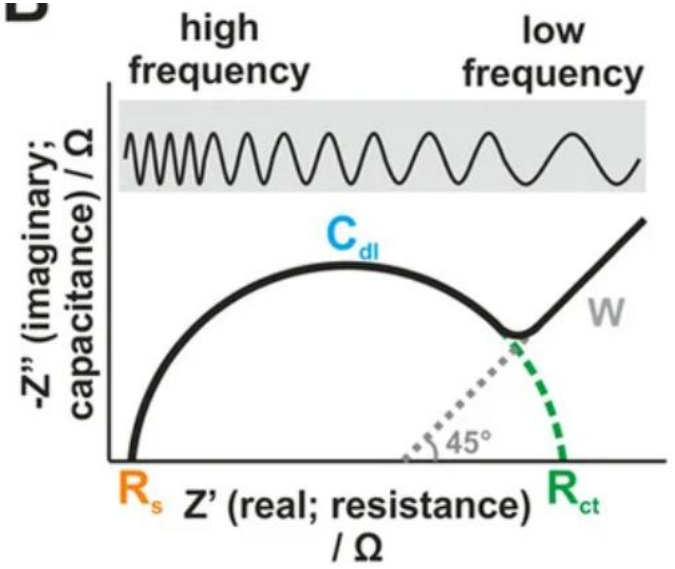
La señal generada es proporcional a la concentración de analito.

Tipos de transductores:

Impedimétricos

Respuesta en frecuencia (AC).

Mide resistencia al paso→ Concentración de lo que se queda anclado



No es necesaria una reaccion
Ejemplo: Sensor de electrolitos o sales

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Elementos y tipos

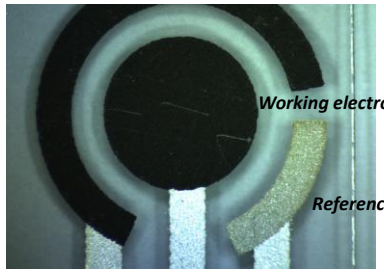
Selección según aplicación y fabricación impresa.

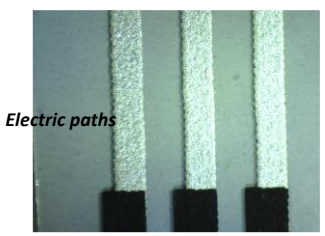
Tipo	Ventaja principal	Limitación	Ideal para impresión
 Potenciométrico	Bajo consumo	Sensible a deriva del electrodo de referencia	Tiras desechables
 Ampermetrico	Alta sensibilidad	Dependiente de difusión	Sensores flexibles bacterias
 Impedimétrico	Alta selectividad superficial	Instrumentación más compleja	Detección biomolecular

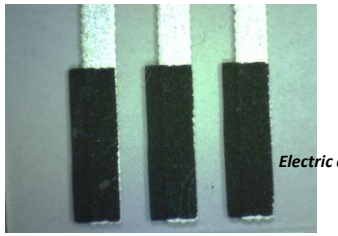
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

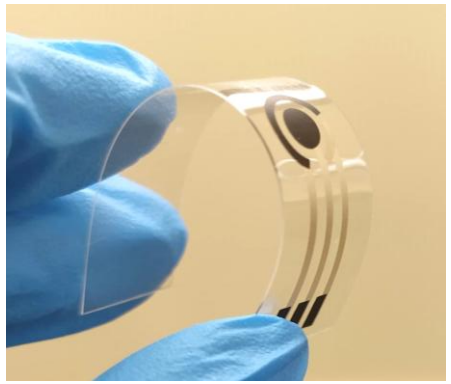
Estructura

Amperométricos





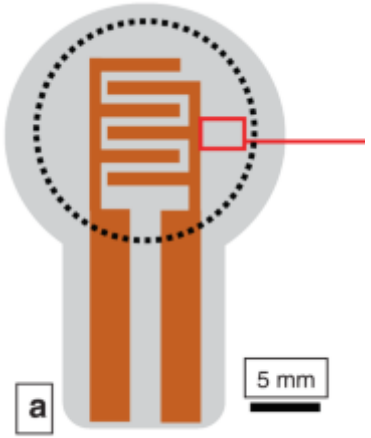


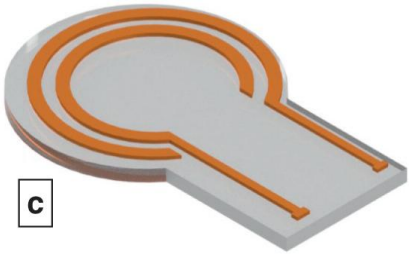


Materiales

WE → Carbono
RE → Plata/Cloruro de plata
CE → Carbono o plata

Impedimetricos





Fuente: https://www.nature.com/articles/s41378-020-00208-z

Materiales

Electrodos → Plata

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Ventajas

BIOSENSORES

- Alta sensibilidad
- Alta selectividad
- Reproducibilidad
- Durabilidad y resistencia (materiales)
- Fácil manejo
- Bajo costo
- Tiempos cortos de análisis o in-situ a tiempo real
- Poco o ningún tratamiento de muestra
- Portátiles
- Incorporables en sistemas microscópicos
- Posibilidad de multianálisis

TÉCNICAS ACTUALES

Los gold standar en sensado son técnicas como cromatografía de gases y líquidos, microscopia de cultivos celulares, ELISA y PCR que presentan los siguientes inconvenientes:

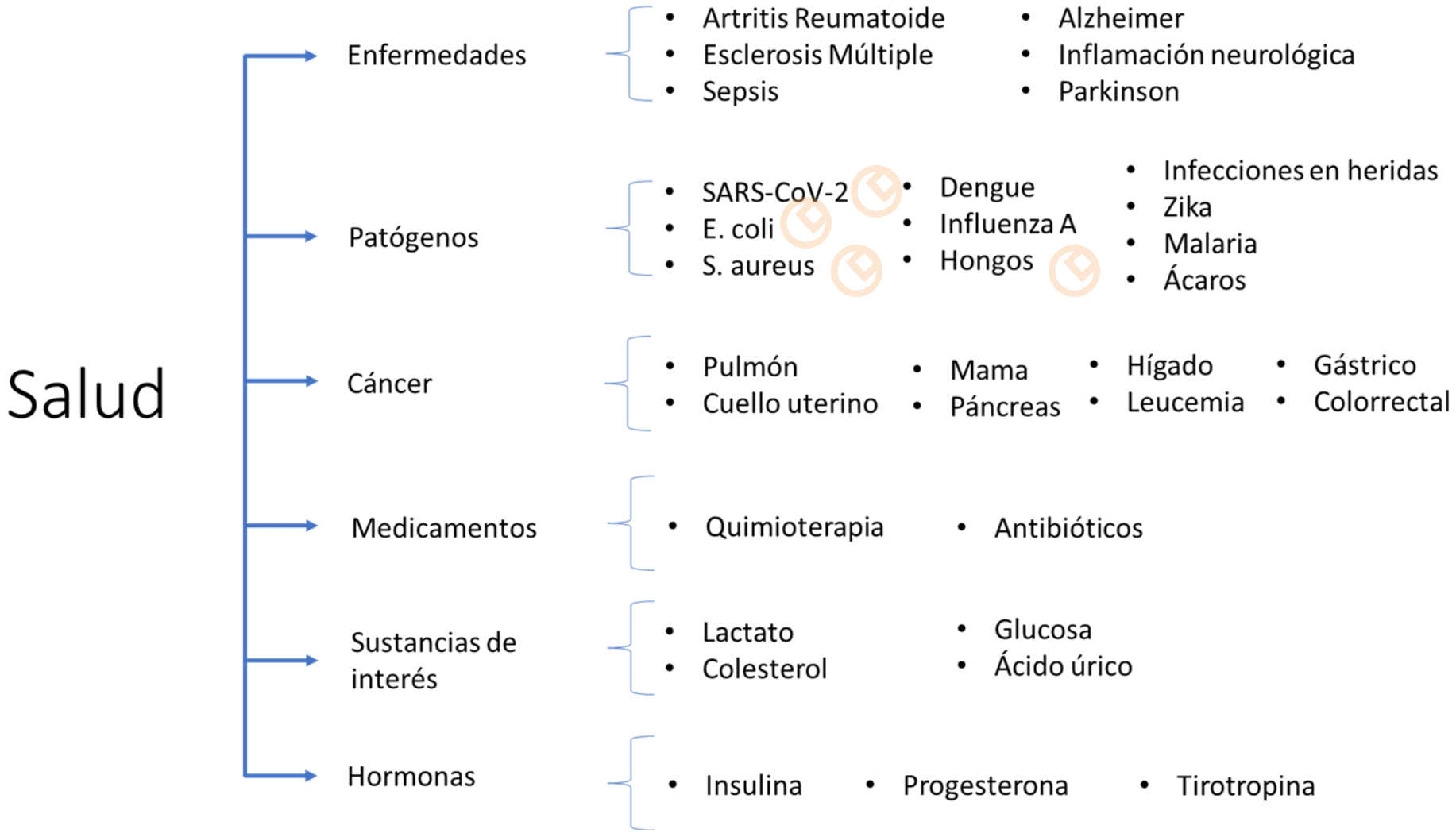
- Personal cualificado
- Alto coste de instrumentación
- Alto coste en reactivos
- Tratamiento de muestra
- Largos tiempos de procesado
- No in-situ

En sensores electroquímicos, además de la electrónica, lo complejo es la química y la superficie.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Aplicaciones

Sectores de aplicación e interés



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Aplicaciones

Sectores de aplicación e interés

Alimentación

Evaluación de la vida útil:
- Aceite de oliva
- Leche
- Derivados lácteos
- Gambas
- Pescado
- Carne
- Frutas
- Vino

Análisis de calidad:
- Glucosa
- Fructosa
- Lactosa
- Lactato
- Almidón
- L-aminoácidos
- Etanol
- Catecol
- Colesterol
- Ácido cítrico
- Biotina y folatos

Agricultura

Biocidas:
- Atrazina
- Clorsulfuron
- Glifosato
- Isoproturon
- Simazina
- Mesotriona
- 2,4-D
- Clorpirifos
- DDT
- Trifluralina

- Patógenos

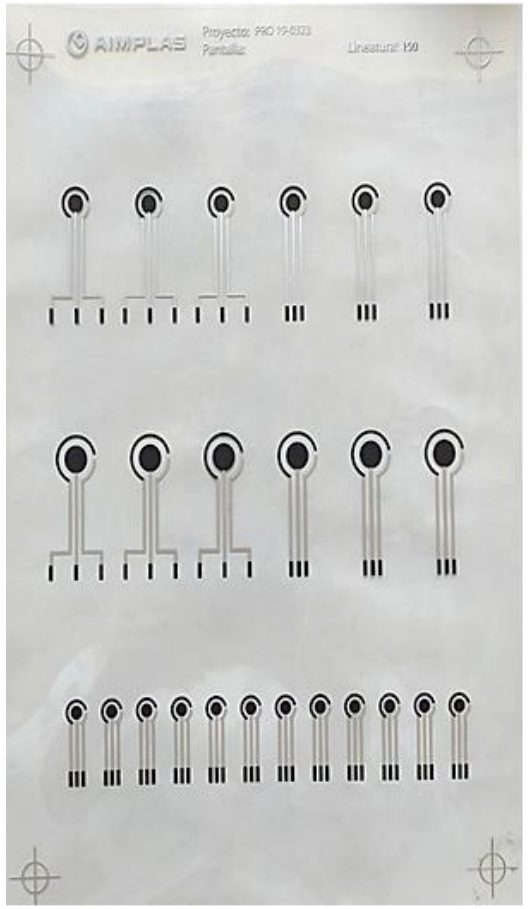
Cultivos:
- Evaluación del estado y fertilidad de la tierra
- Nutrientes
- Vitaminas
- Tª

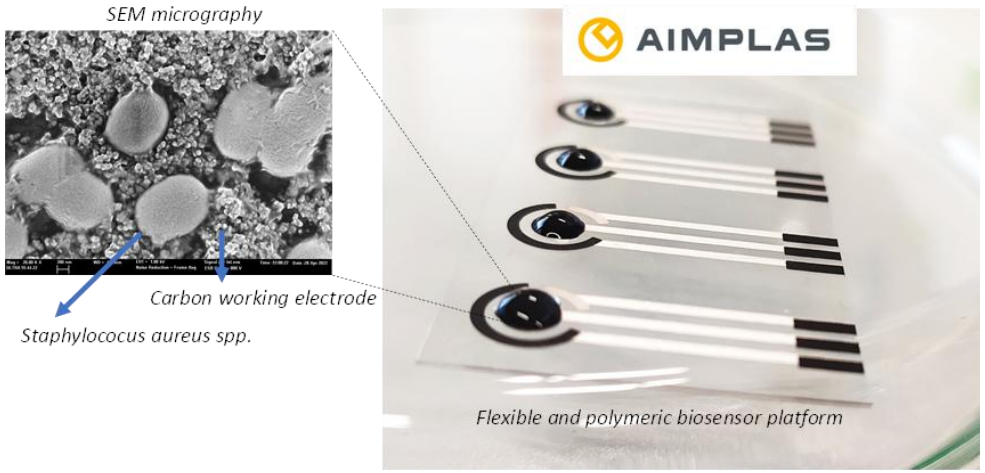
Dispositivos POC (Point of care)

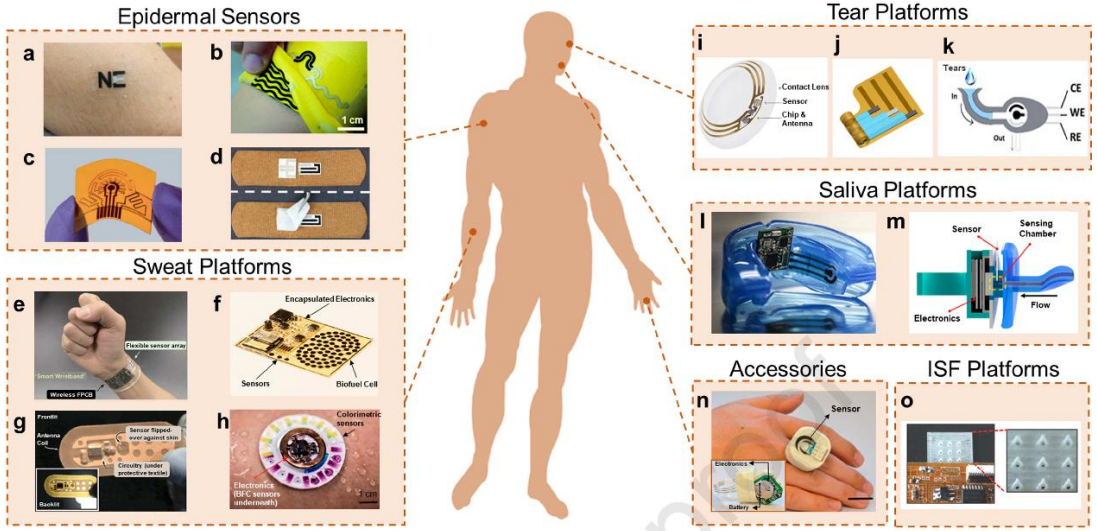
- Deportistas
- Monitorización de pacientes
- Diagnóstico
- Seguimiento de tratamientos y enfermedades
- Wearables
- Posibilidad de sensado no intrusivo

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Aplicaciones







Fuente: wearable electrochemical sensors (Biosensors & Bioelectronics / ACS Sensors, 2020–2024)

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

¿Porqué electronica impresa?

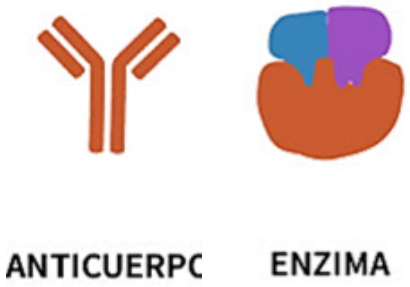
Enzimas
Anticuerpos
Aptámeros

→

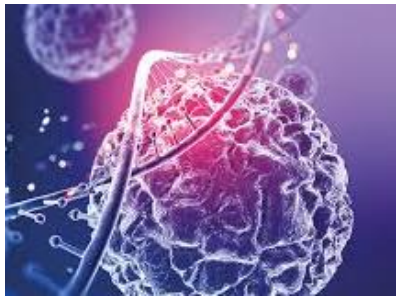
Glucosa
Bacterias
Biomarcadores

→

Electrodos







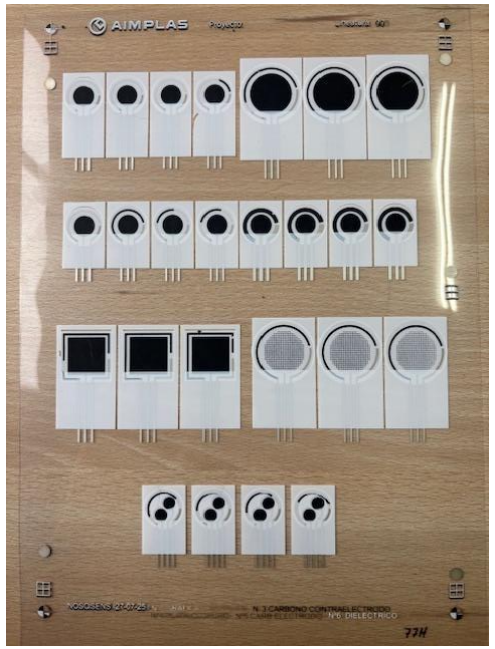


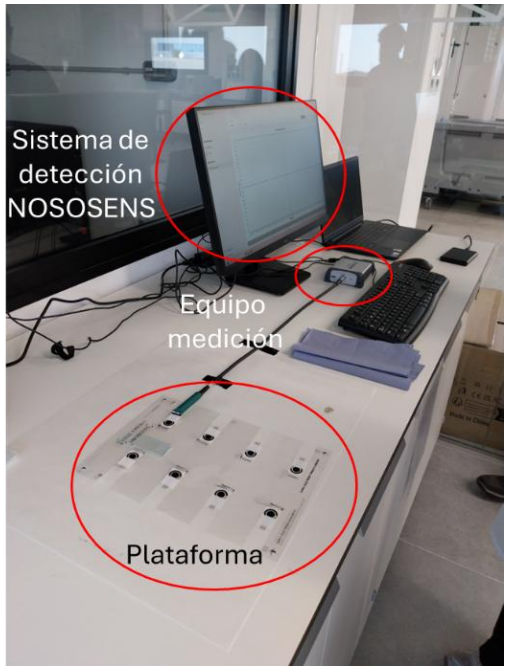
- Flexibilidad
- Adaptabilidad
- Bajo coste
- Alta escalabilidad
- Desechables

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

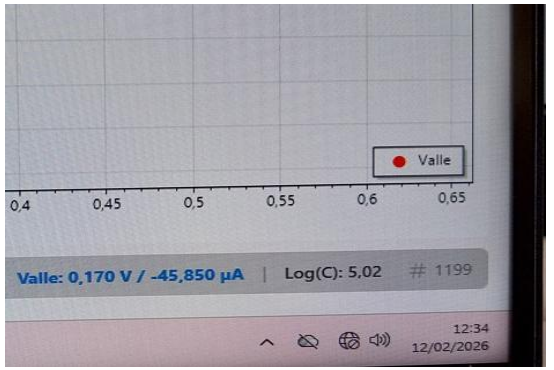
NOSOSENS

Desarrollo de un sistema de detección y prevención temprana de enfermedades nosocomiales en entorno hospitalario.









- Detección especifica S.Aureus
- Detección 10^2 cfu/ml
- Detección inmediata
- Plataforma portátil
- Uso sencillo
- Aviso de desinfección
- Desinfectante biobasado
- Desinfectante no agresivo

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Módulo 4
Electrónica hibrida

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Índice

- ¿Qué es la electrónica hibrida?
- Técnicas y materiales
- Defectos y aplicaciones

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Objetivos

- Entender todas las etapas involucradas en el proceso
- Conocer los materiales
- Conocer las ventajas
- Conocer los retos

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

¿Que es la electronica híbrida?

Integración de componentes electrónicos convencionales sobre circuitos impresos



Actúa como un "puente" tecnológico entre la electrónica rígida convencional (basada en silicio) y la electrónica flexible o impresa del futuro, permitiendo combinar lo mejor de ambos mundos.

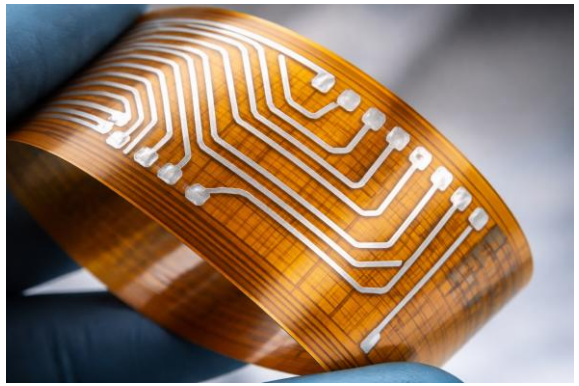
- Combina procesos de impresión y procesos de ensamblaje electrónico
- Permite funciones más complejas que la electrónica impresa pura
- Compatible con sustratos flexibles o conformables

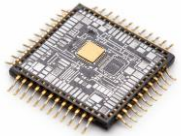
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

¿Porqué es necesaria?

La electrónica impresa es muy atractiva porque permite:
- Fabricación aditiva
- Bajo coste
- Grandes áreas
- Sustratos flexibles

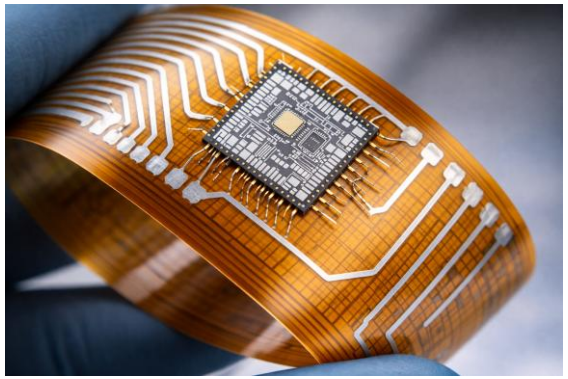
Pero tiene limitaciones electrónico.





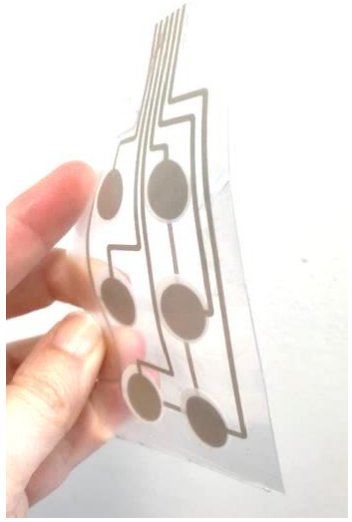
Los dispositivos impresos todavía tienen dificultades para fabricar:
- Microprocesadores
- Giróscopos
- Acelerómetros
- GPS
- Leds

No todo puede imprimirse.

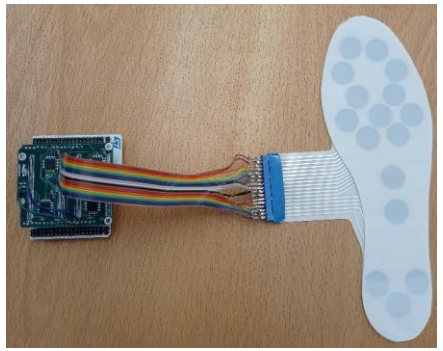


This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

¿Que aporta la electronica hibrida?

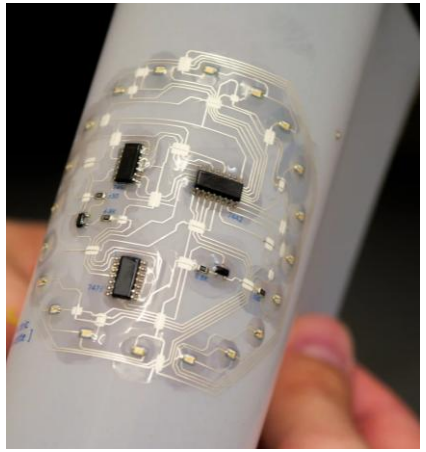


- Control y adaptación





- Comunicación



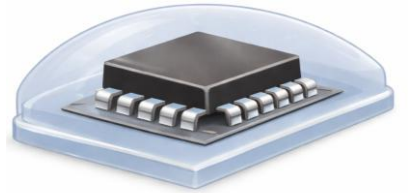
https://www.voltera.io/

- Integrar funcionalidad electrónica avanzada
- Combinar sensores impresos + electrónica de control
- Crear sistemas completos sobre sustratos flexible

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Arquitectura de un sistema híbrido

Integración de componentes electrónicos convencionales sobre circuitos impresos



Componente + encapsulante



Adhesivo conductor



Sustrato + pista impresa

Elemento	Función
Sustrato flexible	Soporte mecánico
Pistas impresas	Interconexión eléctrica
Adhesivo conductor	Conexión eléctrica y mecánica
Componente SMD	Funcionalidad electrónica
Encapsulado	Protección ambiental

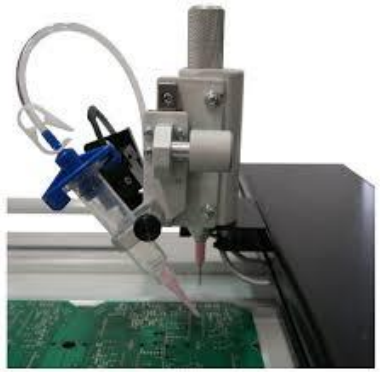
La interfaz crítica es la unión entre el componente y la pista impresa.
Aquí aparecen la mayoría de los problemas:

- Resistencia de contacto
- Delaminación
- Fatiga mecánica

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas

Dispensación de adhesivo → Pick and Place → Curado del adhesivo



https://www.fortex.co.uk/product/smt-pick-place-mpp1/

- Dispensación por aguja
- Jet dispensing
- Serigrafia



https://essemtec.com/en/applications/

- Recogida del componente desde el feeder
- Alineamiento mediante visión artificial
- Posicionamiento preciso sobre el circuito



https://www.globalwellpcba.com/smt-red-glue/

- El adhesivo polimeriza
- Se establece la conexión eléctrica
- El componente queda fijado al sustrato

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas

Dispensación de adhesivo



https://www.fortex.co.uk/product/smt-pick-place-mpp1/

Volumen de adhesivo
- Determina el área de contacto eléctrico
- Influye en la resistencia de contacto

Precisión de posicionamiento
- Alineamiento con los pads
- Repetibilidad del proceso

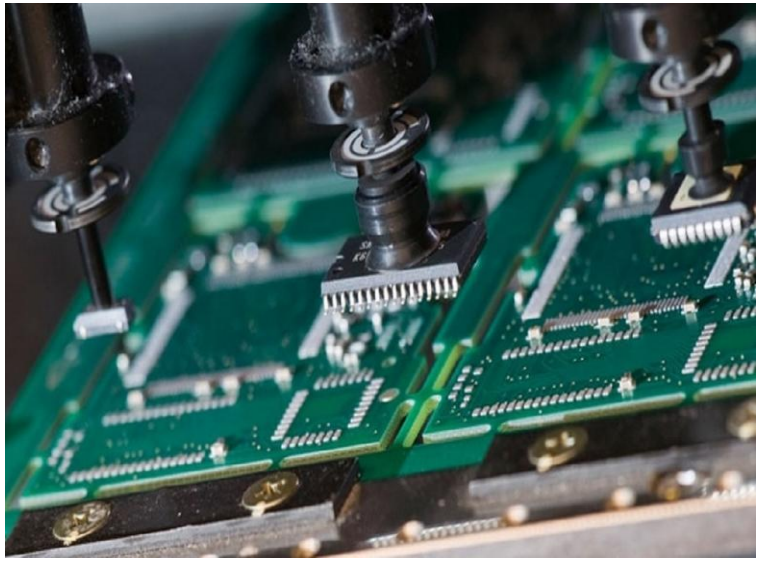
Método de dispensado
- Dispensado por aguja → Proceso más robusto
- Jet dispensing → Proceso más preciso

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

161

Técnicas

Pick and Place



https://www.surfacemountprocess.com/

Precisión de posicionamiento
- Alineamiento con los pads
- Uso de sistemas de **visión artificial**

Fuerza de colocación
- Presión aplicada sobre el componente
- Asegura el contacto con el adhesivo

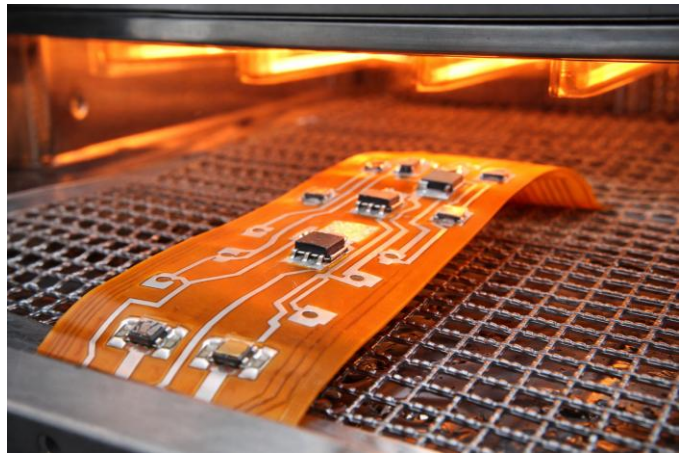
Planaridad del sustrato
- Los sustratos flexibles pueden deformarse
- Afecta a la colocación del componen

➡ Mesa de vacío

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas

Curado del adhesivo



Temperatura de curado
- Activa la polimerización del adhesivo
- Determina la conductividad final

Tiempo de curado
- Necesario para completar la reacción
- Afecta a la estabilidad del contacto

Método de curado
- Térmico (horno)
- UV

→ Más unifome
Más rápido

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Materiales

En electrónica híbrida, los componentes electrónicos convencionales deben integrarse sobre circuitos conductores impresos, utilizando procesos compatibles con sustratos poliméricos y bajas temperatura

Adhesivo conductor →

ICA isotropic conductive adhesive
- Conducción en todas las direcciones
- Similar a una pasta conductora

ACA anistropic conductive adhesive
- Conducción solo en dirección vertical
- Evita cortocircuitos entre pistas cercanas

Soldadura de baja temperatura →

- Aleaciones de baja temperatura
- Perfiles térmicos más suaves

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Materiales

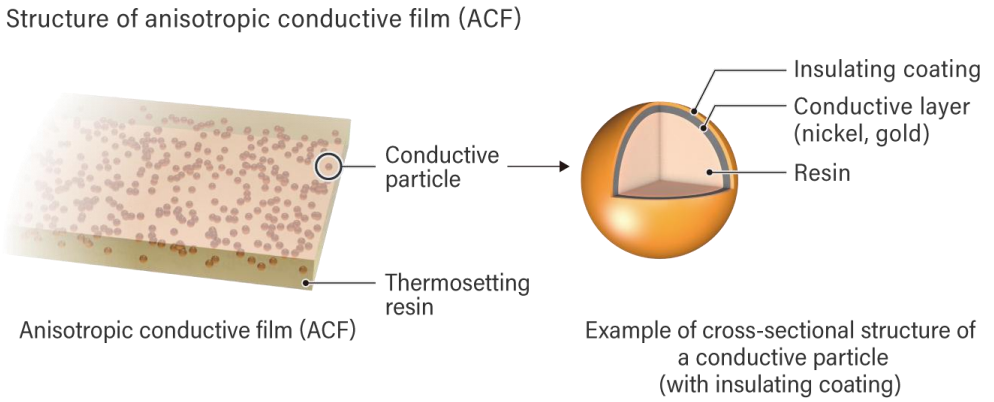
Adhesivos conductores
Permiten **fijar el componente y crear la conexión eléctrica**.
Tipos principales:

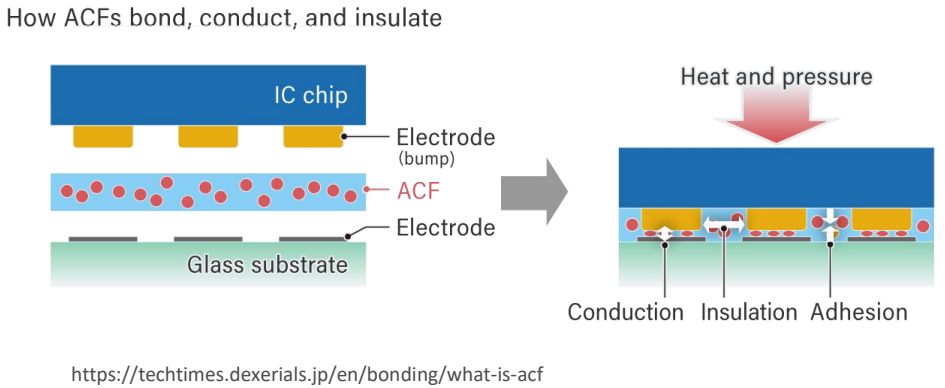
ICA – Isotropic Conductive Adhesive
- Partículas metálicas dispersas
- Curado térmico
- Conducción en todas direcciones

Aplicaciones:
- Montaje de componentes SMD

ACA / ACF – Anisotropic Conductive Adhesive / Film
- Conducción solo en dirección **vertical**
- Evita cortocircuitos entre pistas
- Curado por presión + térmico

Aplicaciones:
- Interconexiones de alta densidad





https://techtimes.dexerials.jp/en/bonding/what-is-acf

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Materiales

Pads grandes

Pitch pequeño

Alta densidad de interconexión

Proceso simple

ICA – Isotropic Conductive Adhesive

ACA / ACF – Anisotropic Conductive Adhesive / Film

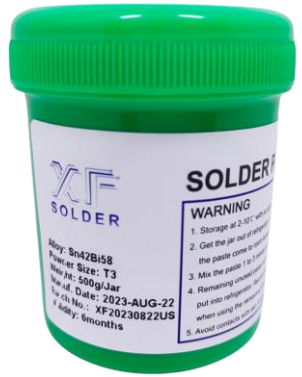
ICA es más sencillo y robusto, ACA es más preciso pero más exigente en proceso

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Materiales

Pastas de soldadura de baja temperatura Low-Temperature Solder Paste, LTS

- Actúa como el adhesivo conductor
- Mezcla de partículas metálicas finas (aleación de soldadura) suspendidas en un flux
- Normalmente entre 120 y 180 °C durante segundos
- Sn-Bi (estaño-bismuto)
  - Buena humectación en cobre y superficies metalizadas.
  - Cierta fragilidad mecánica
- Sn-Bi-Ag
  - Resistencia mecánica
  - Resistencia a fatiga térmica.
- In-Sn-Bi
  - Extrema baja temperatura (60ºC)
  - Alto coste del indio





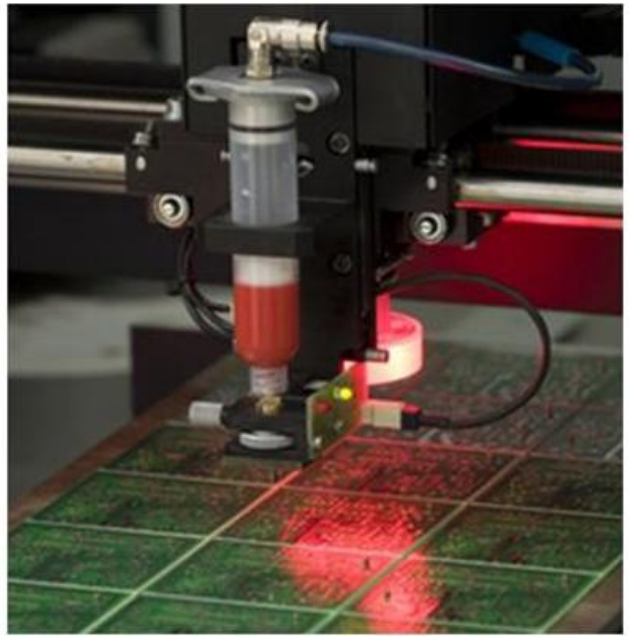
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Materiales

Adhesivos estructurales IQ BOND
No crean conexión eléctrica.

- Refuerzo mecánico
- Fijación adicional de componentes
- Encapsulado parcial

Materiales comunes:
- Epoxi
- Poliuretanos
- Acrílicos



https://www.amtest-smt.com

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Materiales

Materiales de encapsulado

Protegen el sistema de:

- Humedad
- Agentes químicos
- Vibraciones

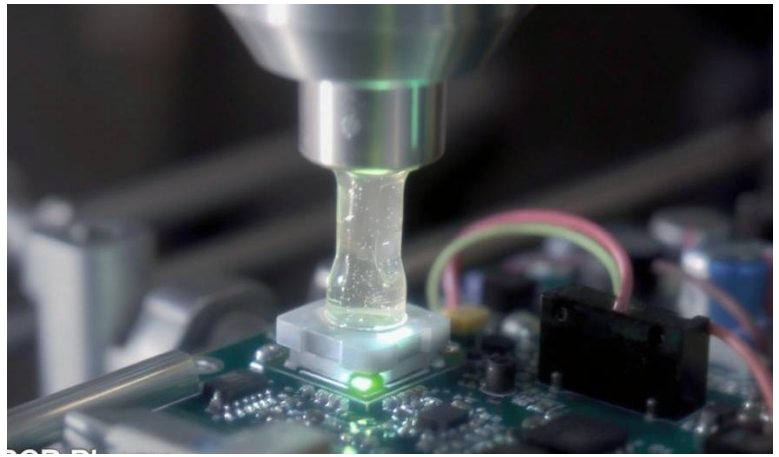
Compatibilidad térmica

- Procesado a **baja temperatura (<150 °C)**
- Coeficiente de expansión compatible con el sustrato

Materiales comunes:

- Resinas epoxi
  - Alta fiabilidad
  - Menor flexibilidad que otros polímeros

- Siliconas
  - Gran elasticidad
  - Peor barrera frente a humedad que epoxi



https://www.keylinktech.com/

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

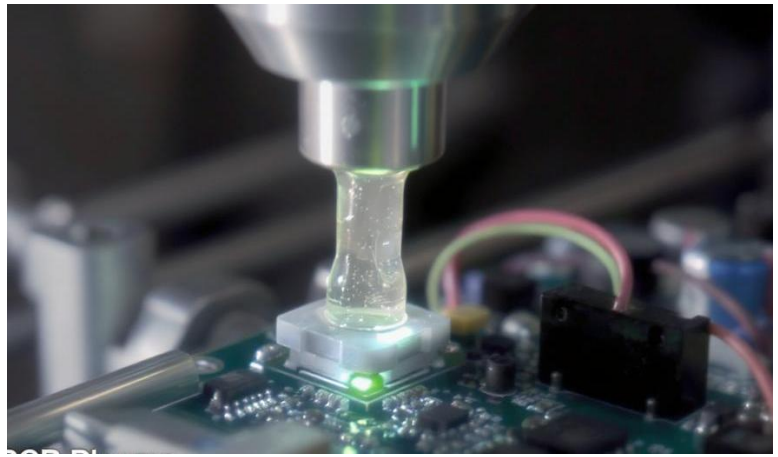
Materiales

Materiales comunes:

- Materiales PU
  - Buena flexibilidad
  - Resistencia a abrasión
  - Buena adhesión a polímeros.

- Encapsulados UV
  - Curado muy rápido (segundos)
  - Baja temperatura de proceso
  - Buena transparencia óptica.

- Encapsulados híbridos orgánico-inorgánicos
  - Sol-gel
  - Híbridos siloxano
  - Buena barrera
  - Buena flexibilidad



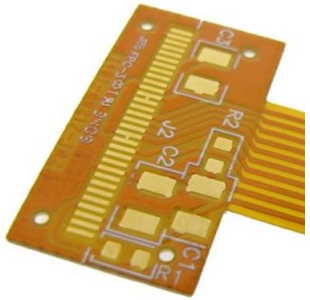
https://www.keylinktech.com/

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Diseño

El diseño de la electrónica impresa debe tener en consideración la posterior electrónica hibrida

Los pads deben diseñarse considerando:



- Tolerancias del pick & place
- Volumen de adhesivo conductor
- Alineamiento del componente

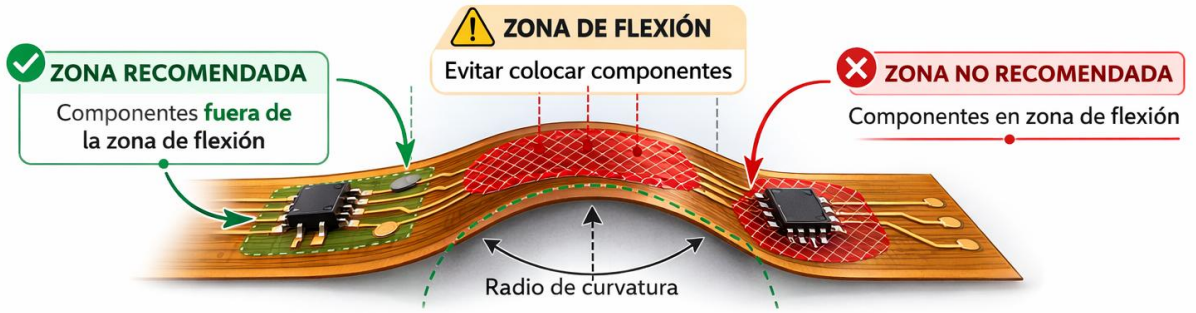
Por lo general, los pads ligeramente mayores que el terminal del componente

Espaciamiento entre pistas
Las pistas impresas suelen requerir mayor separación que en PCB tradicionales

Distribución de componentes
Los componentes deben colocarse teniendo en cuenta:

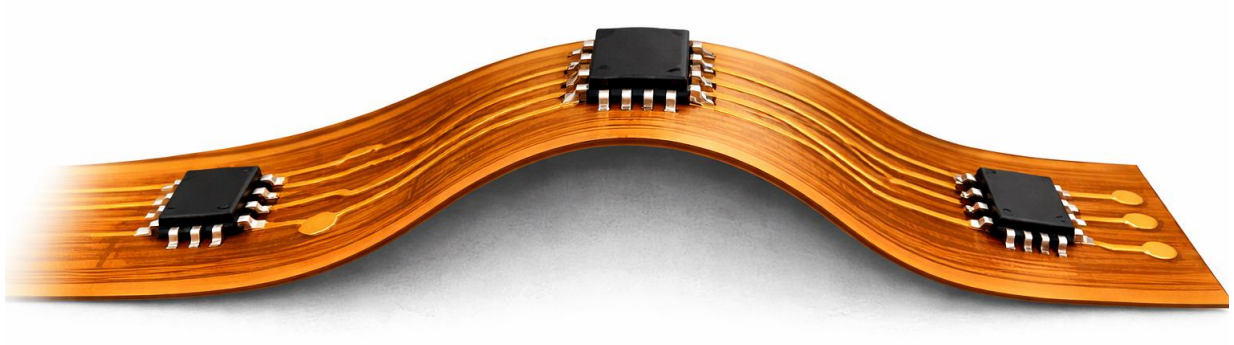
- Zonas de flexión del dispositivo
- Estabilidad mecánica del sustrato
- Accesibilidad para ensamblaje

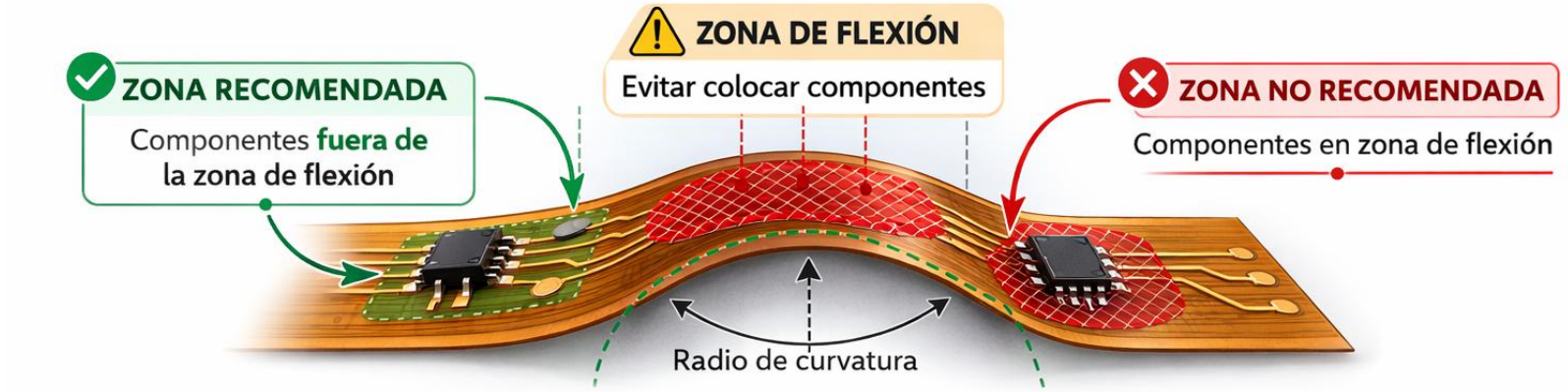
Evitar colocar componentes en zonas de flexión



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Diseño





This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Defectos comunes

Resistencia contacto elevada

CAUSAS
- Mala distribución del adhesivo conductor
- Presión insuficiente durante el ensamblaje
- Curado incompleto del adhesivo

CONSECUENCIAS
- Pérdida de señal
- Aumento de consumo
- Fallos intermitentes

Desalineación de componentes

CAUSAS
- Deformación del sustrato flexible
- Errores en pick-and-place
- Tolerancias en el posicionamiento

CONSECUENCIAS
- Mala conexión eléctrica
- Posibles cortocircuitos

Delaminación entre capas

CAUSAS
- Baja adhesión entre materiales
- Tensiones mecánicas
- Ciclos térmicos o humedad

CONSECUENCIAS
- Separación de capa
- Pérdida de conectividad

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Aplicaciones

Sensores IoT

Dispositivos que integran:

- Sensores impresos
- Circuitos electrónicos
- Conectividad inalámbrica

Aplicaciones:

- Monitorización ambiental
- Logística
- Industria 4.O





Wearables y sensores flexibles

Dispositivos electrónicos integrados en:

- Parches médicos
- Textiles inteligentes
- Dispositivos deportivos

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Aplicaciones

Smart labels

Etiquetas que incorporan:

- Sensores
- Circuitos NFC / RFID

Aplicaciones:

- Trazabilidad de productos
- Packaging inteligente





In Mould Electronics

- Interfaces HMI en automoción
- Iluminación funcional
- Paneles de control integrados

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Modulo 5
Electrónica en molde (IME)

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Índice

- ¿Qué es la IME?
- Técnicas y materiales
- Defectos y aplicaciones

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Objetivos

- Entender todas las etapas o procesos involucrados en el proceso IME
- Conocer los principales retos

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

¿Qué es la IME?

- **In-Mold Electronics (IME)** es una tecnología de fabricación que integra circuitos electrónicos impresos y componentes electrónicos directamente dentro de una pieza plástica durante el proceso de moldeo por inyección.



Crédito: Functional Ink Systems for "In Mold Electronics" by DuPont

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

¿Qué es la IME?





Crédito: Functional Ink Systems for "In Mold Electronics" by DuPont

	Diseño tradicional	Diseño IME	Diferencia
Peso	650 g	150 g	−77%
Espesor	45 mm	3 mm (flat version)	−93%
Partes mecánicas	64 u	2 u.	−96%
Dimensiones PCB	10 x 4 cm	10 x 3 cm	−25%

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

¿Qué es la IME?

Ventajas	Limitaciones
Integración electrónica-estructura	Proceso complejo
Reducción de peso	Ventana de proceso estrecha
Menos piezas y ensamblaje	Sensibilidad al termoformado
Diseño 3D funcional	Coste inicial elevado
Estetica	Reparabilidad limitada

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas y materiales

- **Configuración del stack**
- **Procesos involucrados en IME**
- **Materiales utilizados en IME**

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas y materiales

- **Configuración del stack**
  - Un solo sustrato (decorativo + funcional)
  - Dos sustratos (decorativo + funcional)
  - Funcional sin decoración

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

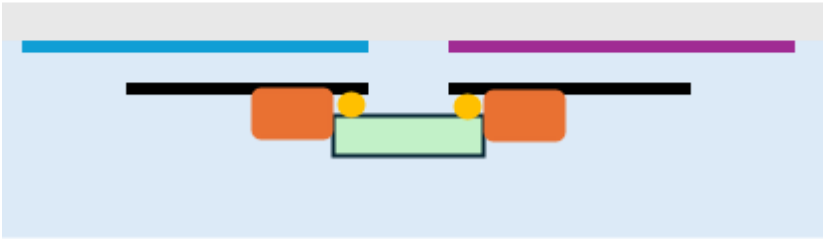
Un solo sustrato (decorativo + funcional)

Estructura:
Sustrato
↓
Tintas gráficas
↓
Circuito impreso (plata)
↓
Componentes SMD
↓
Plástico inyectado

Características
•El mismo film aporta:
- decoración
- circuitos
- soporte estructural



Ventajas
- Menos materiales
- Proceso más simple
- Menor coste
- Menor espesor total



Inconvenientes
- Mayor complejidad en el diseño del film
- Riesgo de dañar la electrónica durante decoración
- Menor flexibilidad de diseño

Uso típico
- Paneles táctiles simples
- Interfaces con pocos componentes

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

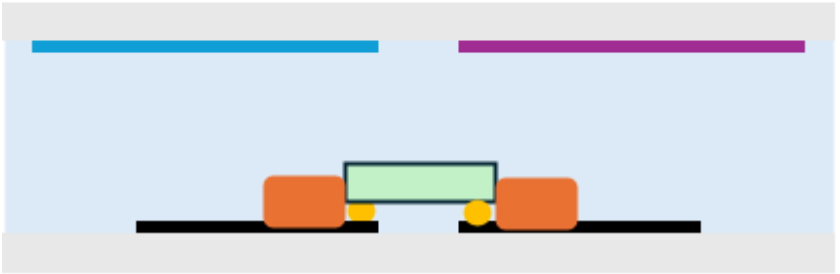
Dos sustratos (decorativo + funcional)

Estructura:
Sustrato decorativo
↓
Tintas decorativas
↓
Plástico inyectado
↓
Componentes SMD
↓
Adhesivos
↓
Tintas funcionales
↓
Sustrato funcional

Características
- Un film dedicado a estética
- Otro film dedicado a electrónica



Ventajas
- Mayor libertad de diseño gráfico
- Mejor protección de la electrónica
- Más robusto frente a deformaciones



Inconvenientes
- Proceso más complejo
- Mayor espesor
- Mayor coste

Uso típico
- Automoción
- HMI complejas
- Paneles retroiluminados

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

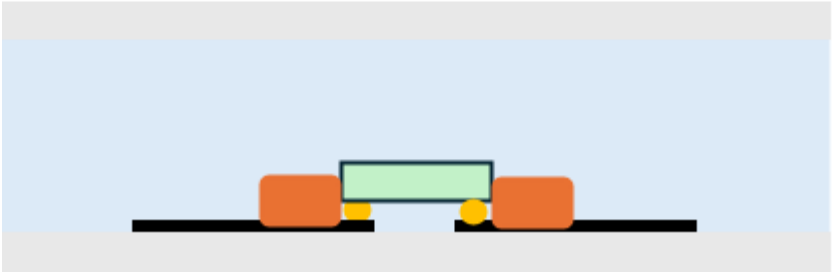
Funcional sin decoración

Estructura:
Sustrato funcional
↓
Tintas funcionales
↓
Plástico inyectado transparente/translucido

Características
- Proceso simplificado
- Buena integración con iluminación
- Alta transparencia posible



Ventajas
- Menor probabilidad de fallo



Inconvenientes
- Limitación en diseño y aplicación

Uso típico
- Sistemas de iluminación
- Sensores integrados
- Antenas

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

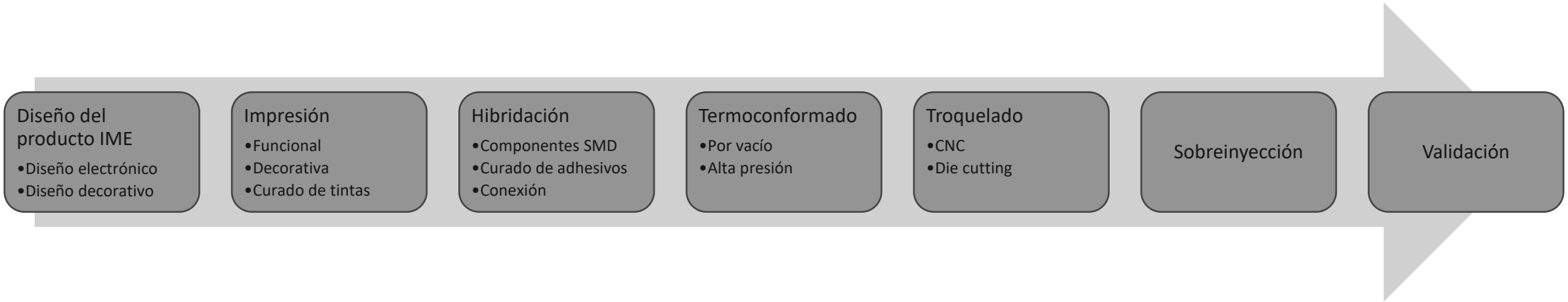
Comparación

Configuración	Sustratos	Complejidad	Aplicaciones
Todo en un film	1	Media	HMI simples
Decorativo + funcional	2	Alta	Automoción
Solo funcional	1	Baja	Sensores / iluminación

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas y materiales

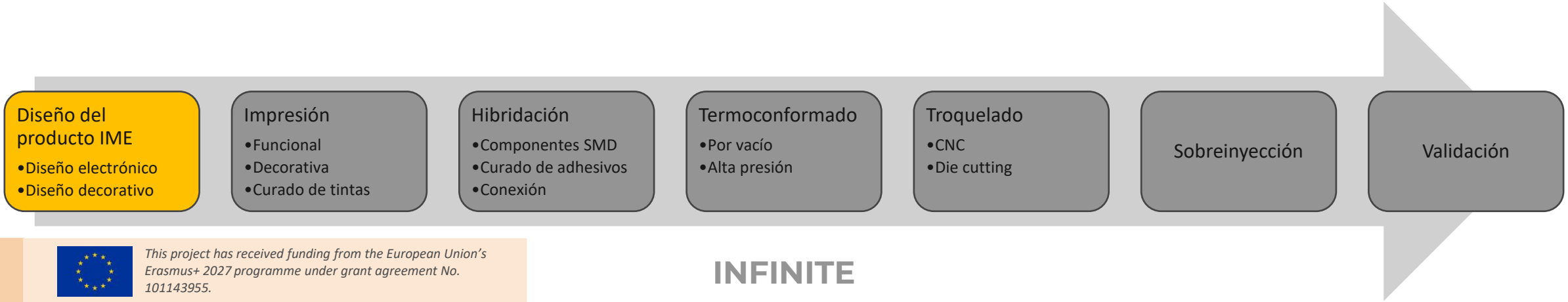
- **Procesos involucrados en IME**



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Diseño del producto IME

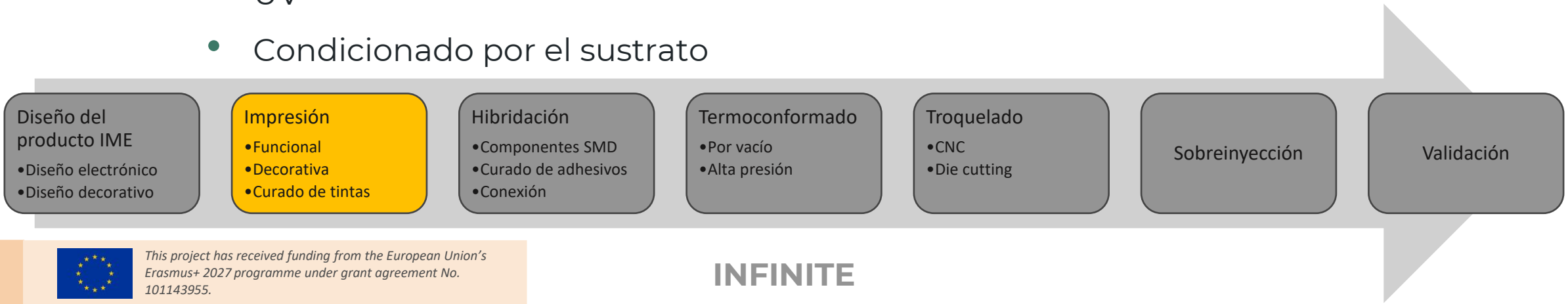
- Geometría
- Diseño funcional
  - Posición LEDs + componentes SMD
  - Capacitivos
  - Antenas
- Diseño decorativo
  - Requerimientos estéticos, iluminación



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Impresión

- Decorativo
  - Tintas decorativas: opacas, translucidas
- Funcional
  - Tintas conductivas
  - Tintas decorativas: control luz, etc..
- Curado
  - Térmico
  - UV
  - Condicionado por el sustrato



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Hibridación

- Adhesivo conductivo
- Componentes SMD
- Adhesivo estructural
- Conexión!



Foto: Maquina Puma, Essemtec

Foto: Maquina LM900, Fritsch



Diseño del producto IME	Impresión	Hibridación	Termoconformado	Troquelado	Sobreinyección	Validación
•Diseño electrónico •Diseño decorativo	•Funcional •Decorativa •Curado de tintas	•Componentes SMD •Curado de adhesivos •Conexión	•Por vacío •Alta presión	•CNC •Die cutting		

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Termoconformado

- Conformar los sustratos para adaptarlos a la geometría 3D de la pieza final antes del proceso de inyección.
- Tecnologías
  - Vacío
  - Alta presión
  - Asistido por herramienta
- Riesgos:
  - Rotura de pistas, distorsión del circuito, daños en componentes SMD



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Termoconformado. Por vacío

- Etapas del proceso:

Calentamiento

Calentamiento de la lámina a su T° de conformado mediante fuentes de calor.

Transporte

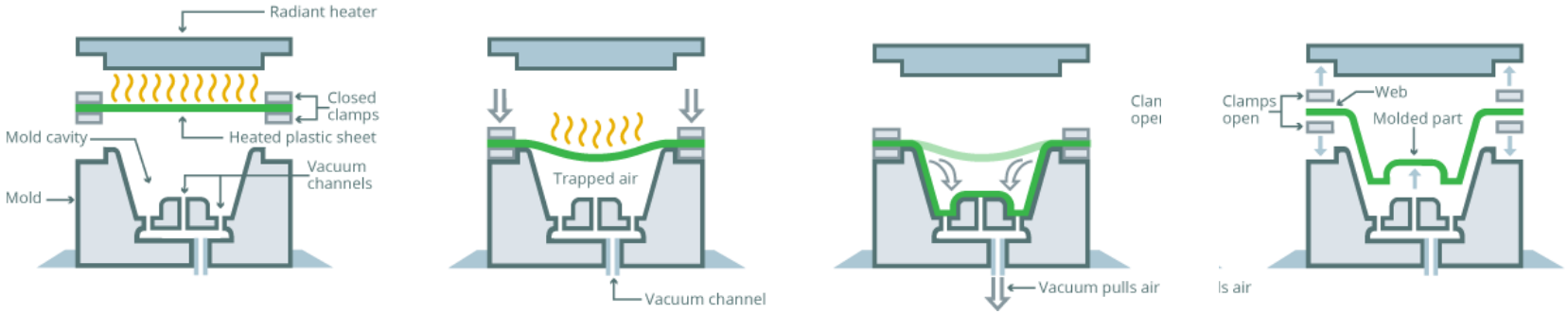
Transporte de la lámina de la fuente de calor al molde de conformado.

Vacío/Estiramiento

Aplicación del vacío y conformación del film.

Enfriamiento/ Desmoldeo

Liberación del vacío y fijaciones del film.



Parámetros críticos

- Temperatura de calentamiento
- Tiempo de calentamiento
- Velocidad de deformación
- Radio de curvatura de la pieza
- Propiedades mecánicas del sustrato

Diseño del producto IME	Impresión	Hibridación	Termoconformado	Troquelado	Sobreinyección	Validación
•Diseño electrónico •Diseño decorativo	•Funcional •Decorativa •Curado de tintas	•Componentes SMD •Curado de adhesivos •Conexión	•Por vacío •Alta presión	•CNC •Die cutting		

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Termoconformado. Por presión positiva

- Etapas del proceso:

Calentamiento

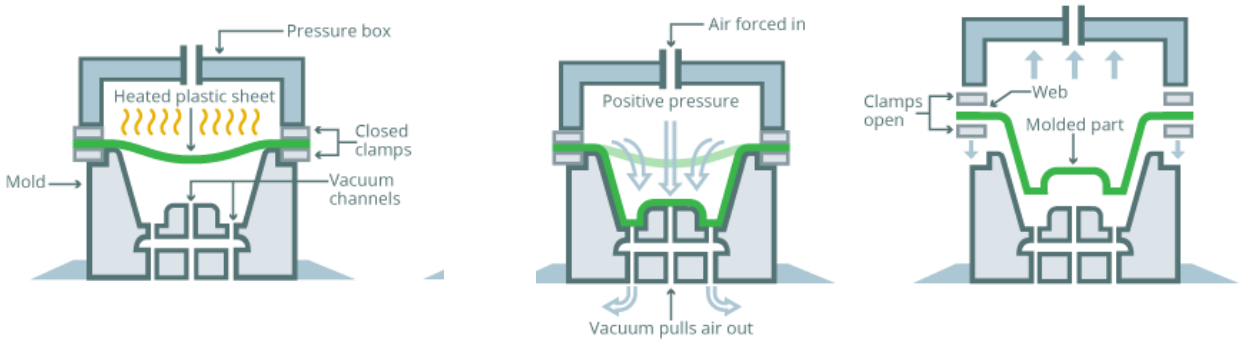
Calentamiento de la lámina a su Tº de conformado mediante fuentes de calor.

Presión/Estiramiento

Aplicación del presión y conformación del film.

Enfriamiento/ Desmoldeo

Liberación del presión y fijaciones del film.

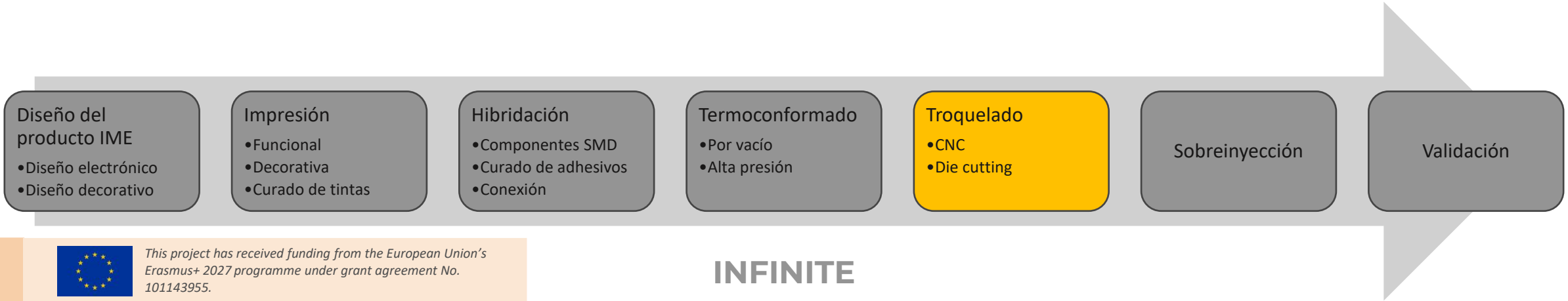




This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Troquelado de sustratos

- Dar al **sustrato termoformado o plano la geometría final necesaria** para su correcta inserción en el molde de inyección.
- Permite: contorno final, orificios funcionales, zonas de posicionamiento
- Tecnologías
  - CNC
  - Troquelado (Die cutting)



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Troquelado de sustratos. CNC

- Corte por control numérico
- Ventajas:
  - Alta precisión
  - Flexibilidad prototipos
  - Bajo coste. No troquel
- Limitaciones
  - Menor velocidad de producción.
  - Acabado peor que troquelado



Foto: https://ati-forms.com/cnc-plastic-trimming/



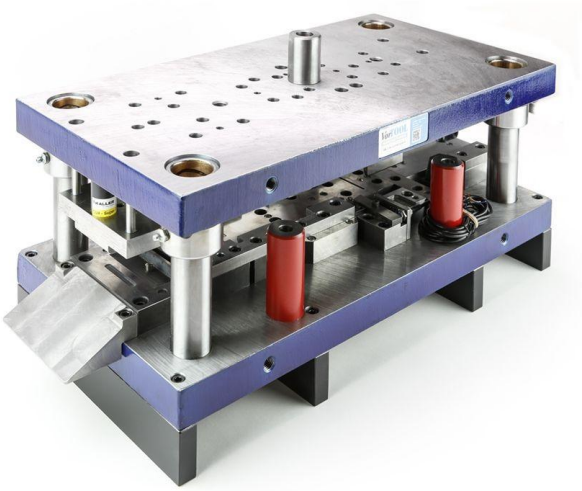
This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

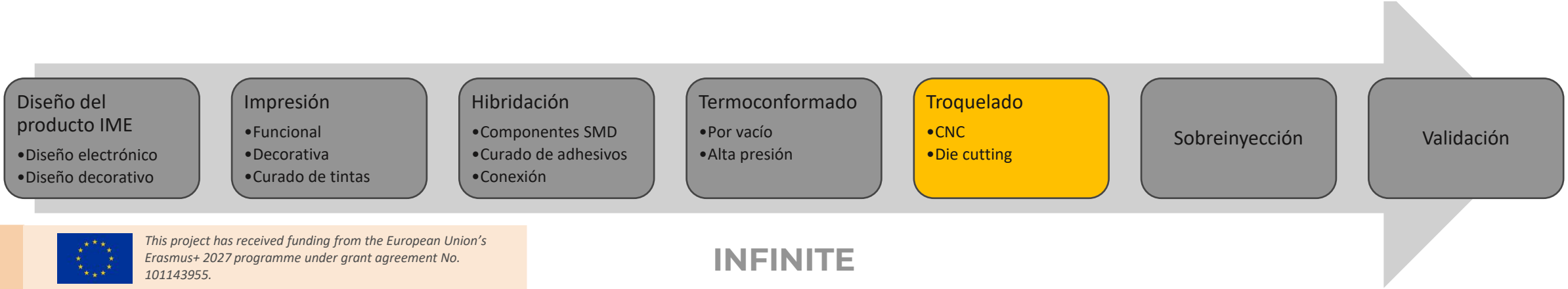
Troquelado de sustratos. Die cutting

- Corte mediante troquel metálico
- Ventajas:
  - Alta productividad
  - Bajo coste por pieza
  - Buena repetibilidad
- Limitaciones
  - Menor flexibilidad de diseño
  - Necesidad de fabricar el troquel. Coste



https://stampingsimulation.com/

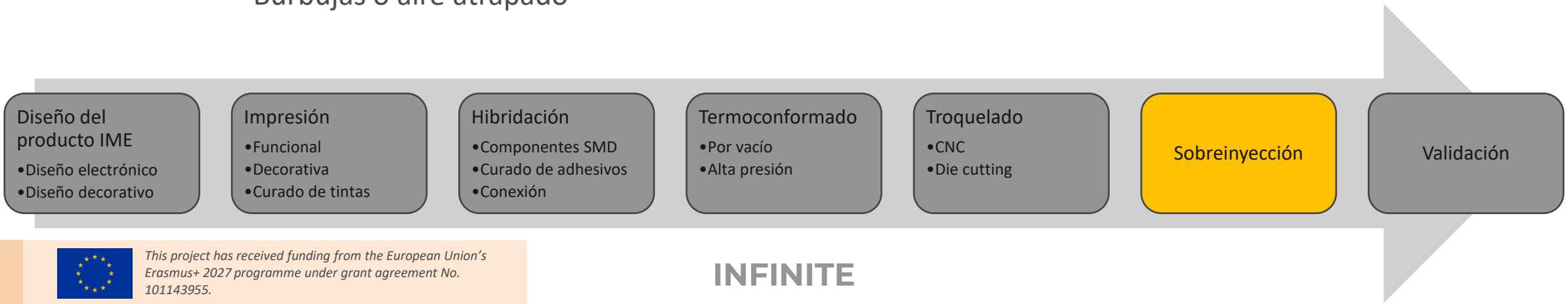




This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Sobreinyección

- Integrar el **film electrónico termoformado** dentro de la pieza final mediante **sobremoldeo por inyección de termoplástico**.
- La resina fundida encapsula el film y **forma la estructura del componente**.
- Riesgos
  - Desplazamiento del film
  - Daño en componentes electrónicos
  - Delaminación film–plástico
  - Burbujas o aire atrapado



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Sobreinyección

- Etapas del proceso

Inserción de los sustratos en el molde

- Posicionamiento del sustrato en la cavidad
- Fijación mediante vacío, pines o carga manual/automática

Cierre de molde

- El film queda estabilizado en la cavidad

Llenado del molde

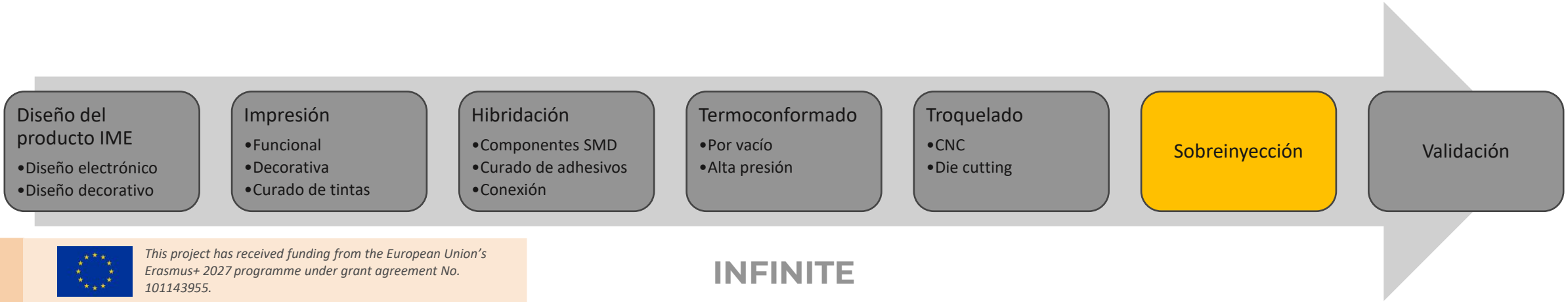
- Inyección del polímero fundido
- El flujo rodea el film y los componentes electrónicos

Compactación y enfriamiento

- Consolidación de la pieza
- Adhesión film–polímero

Expulsión de la pieza

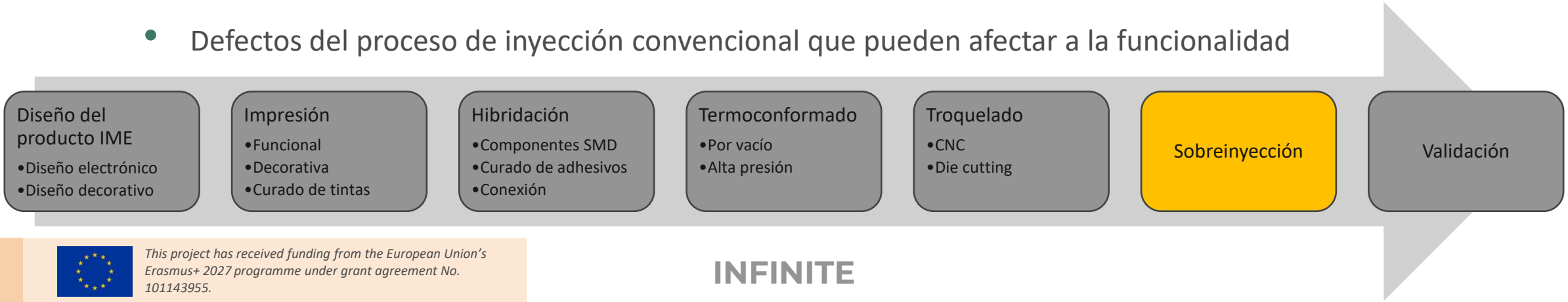
- Obtención de la pieza final con electrónica integrada
- Inserción de sustratos para el próximo ciclo



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Sobreinyección

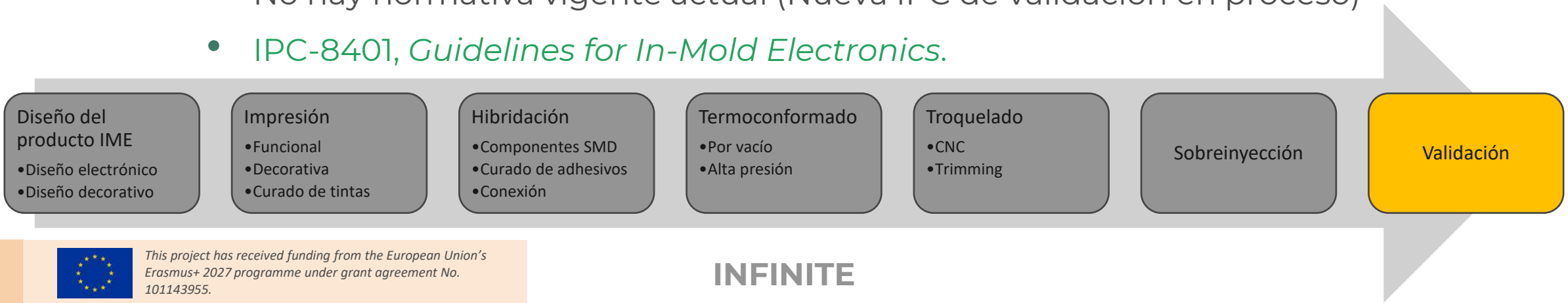
- Parámetros críticos de proceso
  - Temperatura del fundido
  - Velocidad de inyección
  - Presión de compactación
  - Diseño de la entrada (gate)
  - Dirección del flujo
- La Salida de la cola de conexión electrónica
- Limitación en grueso de pieza. Componentes SMD y elevada cizalla
- Sujeción del inserto funcional i/o decorativo (E. Estática, Mecánica, Vacío)
- Entrada de material critica
- Defectos del proceso de inyección convencional que pueden afectar a la funcionalidad



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Validación

- Verificar la **integridad eléctrica, mecánica y funcional** de las piezas IME y **analizar el ratio de fallo asociado a cada etapa del proceso**.
- **Ensayos eléctricos:** Continuidad de pistas, Resistencia eléctrica, Funcionamiento de LEDs y sensores
- **Ensayos mecánicos:** Adhesión film–plástico, Resistencia a impacto o flexión
- **Ensayos ambientales:** Ciclos térmicos, Humedad, Envejecimiento
- **Normativa:**
  - No hay normativa vigente actual (Nueva IPC de validación en proceso)
  - IPC-8401, *Guidelines for In-Mold Electronics*.



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Técnicas y materiales

- **Materiales utilizados en IME**
  - **Sustrato**
  - **Resina**

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Sustrato

- El **sustrato** es el film polimérico sobre el que se imprimen los circuitos electrónicos y que posteriormente se **termoforma e integra en la pieza plástica mediante sobremoldeo por inyección**.

- Materiales más utilizados
  - PET (polietileno tereftalato)
  - PC (policarbonato)
  - PC/PMMA
  - Films multicapa especializados

- **Características que debe cumplir**
  - Adhesión de tintas
  - Estabilidad dimensional
  - Flexibilidad para termoformado
  - Resistencia térmica
  - Compatibilidad con adhesivos y componentes electrónicos

- Espesor típico: 125 – 375 µm (dependiendo de aplicación)

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Sustrato

- Soporte para electrónica impresa
  - Base para impresión de pistas conductoras
- Soporte mecánico para componentes
  - Fijación de LEDs, resistencias y chips
  - Compatibilidad con adhesivos conductores
- **Elemento deformable** durante termoformado
  - Permite conformado 3D del circuito
  - Debe evitar fractura de pistas o delaminación
- Interfaz con el plástico inyectado
  - Garantiza la **adhesión film-polímero**
  - Protege la electrónica frente al ambiente
- Posible función decorativa
  - Integración de gráficos
  - Superficies retroiluminadas

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Resina

- Termoplástico inyectado que sobremoldea el/los sustratos y forma la estructura final de la pieza.

- Materiales habituales
  - PC
  - PC/ABS
  - PMMA
  - TPU (aplicaciones flexibles)

- **Requisitos principales**
  - Adhesión film–polímero
  - Temperatura compatible con el sustrato
  - Buena fluidez
  - Propiedades ópticas (si hay iluminación)



This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Resina

Funciones principales

1. **Estructural**
   → Forma el cuerpo de la pieza

2. **Protección electrónica**
   → Encapsula circuitos y componentes

3. **Adhesión al sustrato**
   → Unión film – plástico

4. **Estética**
   → Transparencia, color, textura

5. **Transferencia de presión**
   → El flujo del polímero actúa sobre el film durante la inyección

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Defectos y aplicaciones

- Defectos mas comunes en IME según el proceso
- Aplicaciones / Casos prácticos

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Termoconformado

- **Deformación para adaptarse a la geometría 3D** de la pieza.

DEFECTOS

- **Rotura de pistas conductoras** → Microfisuras en tintas conductoras (plata)
- **Aumento de resistencia eléctrica** → Adelgazamiento de las pistas por estiramiento
- **Delaminación de capas** → Separación entre tinta, dieléctrico y sustrato
- **Daño en componentes SMD** → Tensiones mecánicas durante el conformado
- **Distorsión del circuito** → Desplazamiento de elementos electrónicos respecto a la decoración

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Termoconformado

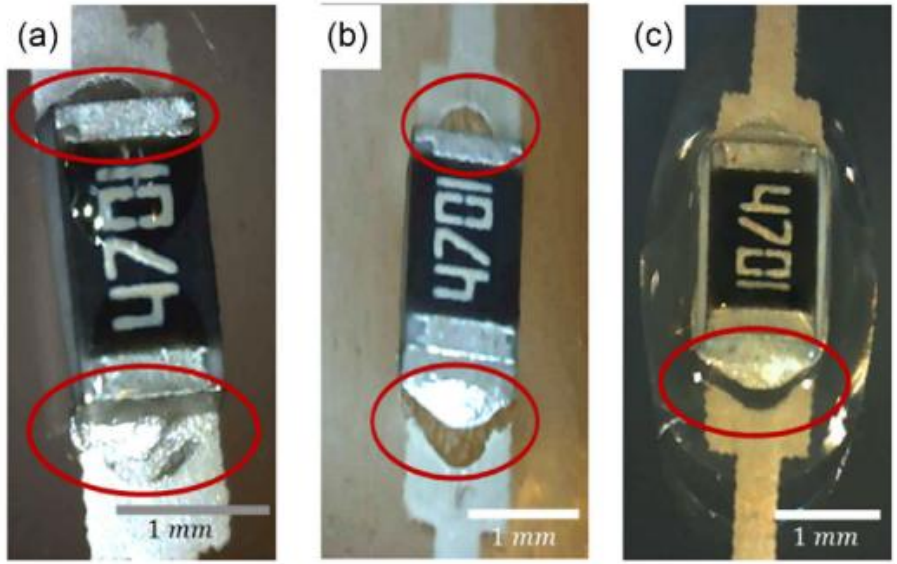
Factores que influyen

- Radio de curvatura de la pieza
- Grado de **elongación del film**
- Espesor del sustrato
- Temperatura de termoformado
- Posición de las pistas en la zona deformada

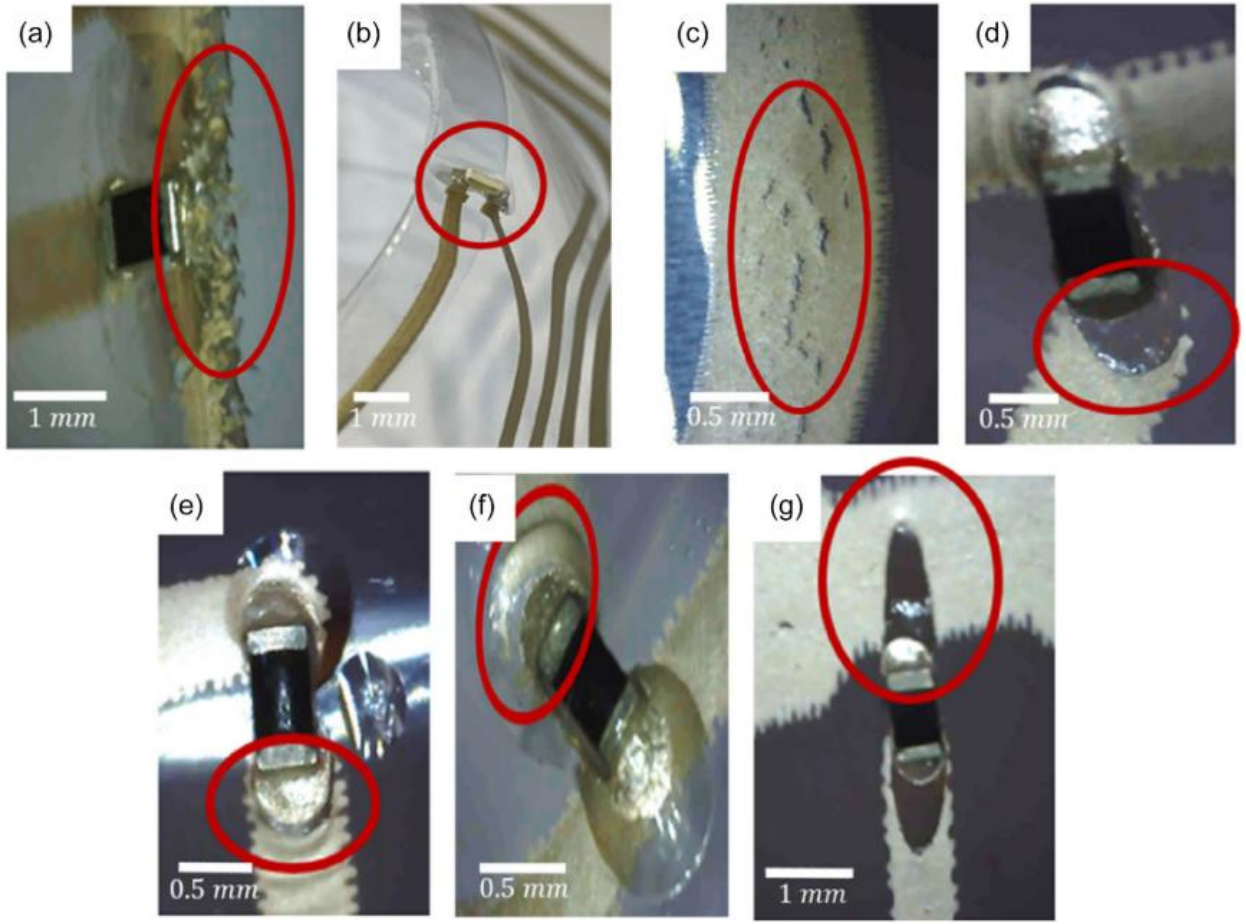
- En IME, la mayor parte de los fallos eléctricos se originan en la etapa de termoformado, no en la inyección.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Termoconformado



10.1002/adem.202402623



10.1002/adem.202501294

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Sobreinyección

- **El polímero fundido entra en el molde a alta temperatura, velocidad y presión.**

DEFECTOS

- **Desplazamiento del film (film shifting)** → El film se mueve dentro del molde por el impacto del flujo.
- **Daño en componentes electrónicos** → Presión o impacto directo del flujo sobre LEDs o chips.
- **Delaminación film–plástico** → Falta de adhesión entre sustrato y resina.
- **Burbujas o vacíos** → Aire atrapado entre film y polímero.
- **Deformación del circuito** → Tensiones inducidas durante el llenado o compactación.
- **Borrado de tintas (Wash out)** → La cizalla ejercida sobre las tintas puede borrar las tintas

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Sobreinyección

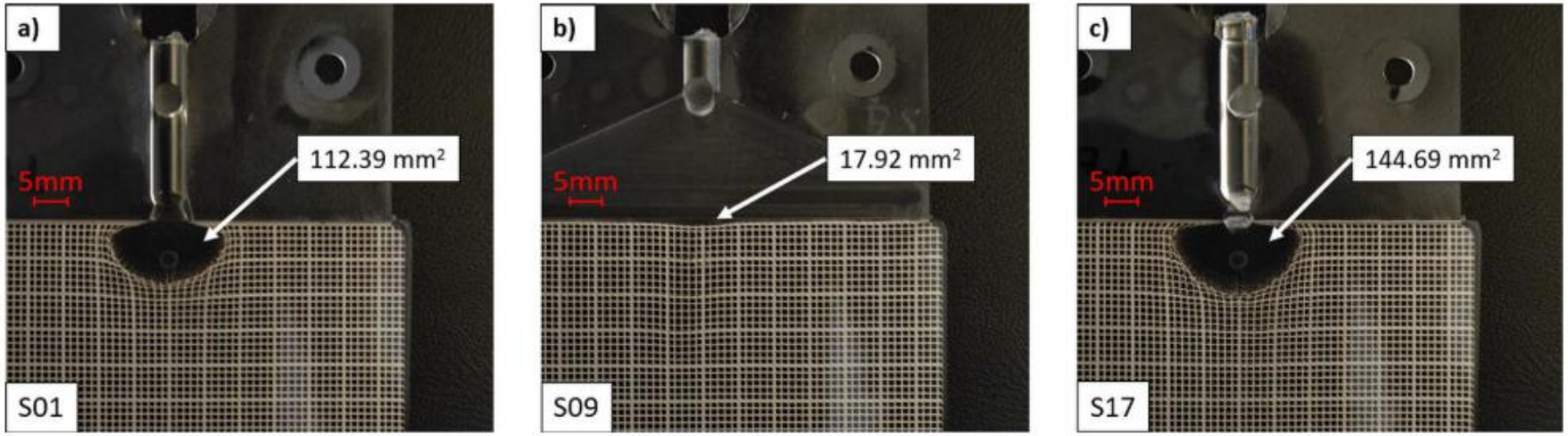
Factores que influyen

- Velocidad de inyección
- Presión de compactación
- Temperatura del fundido
- Diseño de entrada
- Dirección del flujo

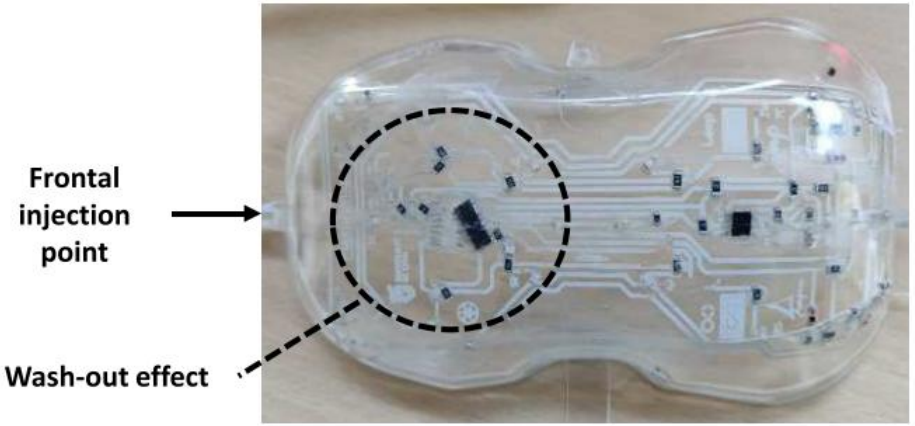
- El principal riesgo no es la deformación del film sino las cargas mecánicas generadas por el flujo del polímero fundido sobre la electrónica integrada.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

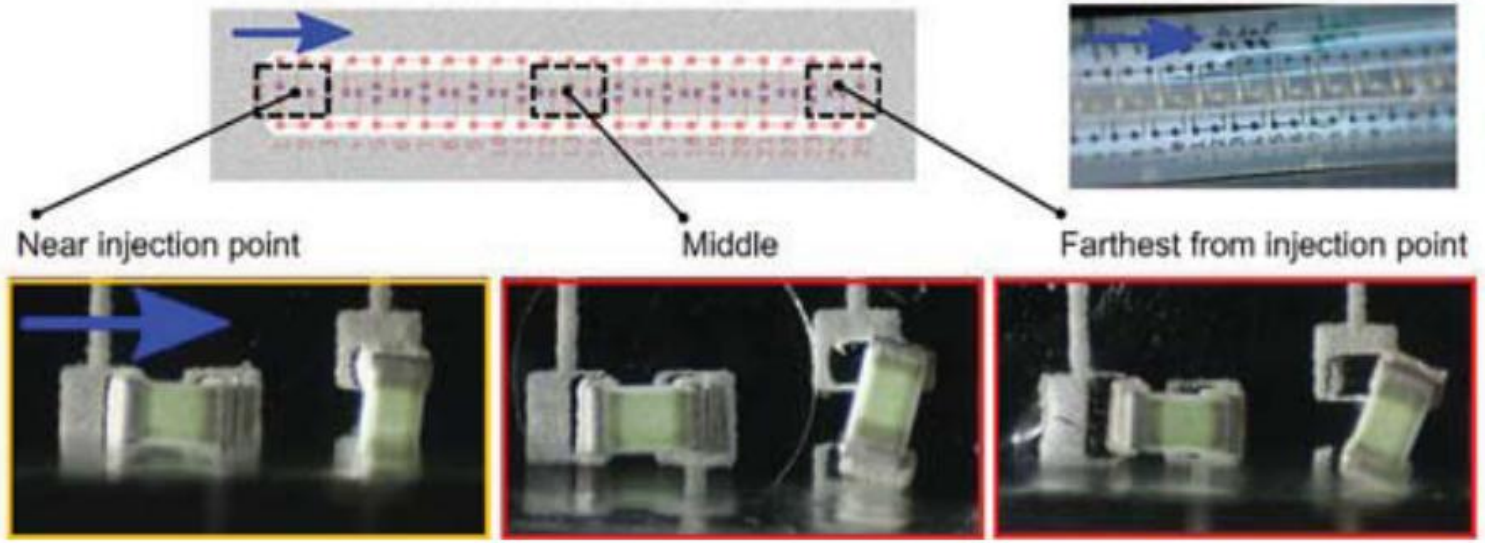
Sobreinyección



10.1007/s00170-025-15016-w



A Toolbox to Develop and Produce In-Mold Electronics Devices



10.1109/MID50463.2021.9361624

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Caso practico:
Panel HMI para control de climatización en consola central en interior de coche.

- Arquitectura
- Materiales
- Procesos
- Retos técnicos
- Ensayos de validación

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

Gracias

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.