



Proyección térmica de materiales compuestos: retos y aplicaciones

Jorge Velasco – Fundación Cidaut

II Foro Retos y tendencias en Tratamientos Superficiales

FUNDACIÓN CIDAUT



Valladolid



Potenciar la Competitividad y el Desarrollo Industrial de las empresas de los sectores de **Transporte, Energía e Industria en general**

180
Investigadores

+400
Clientes industriales

80 Millones
Euros
R&D facilities

23.304 m²
Superficie construida

20 M€
Facturación 2022

38
Patentes

>550
Publicaciones científicas

24
Empresas de base tecnológica

automoción



energía



ferrocarril



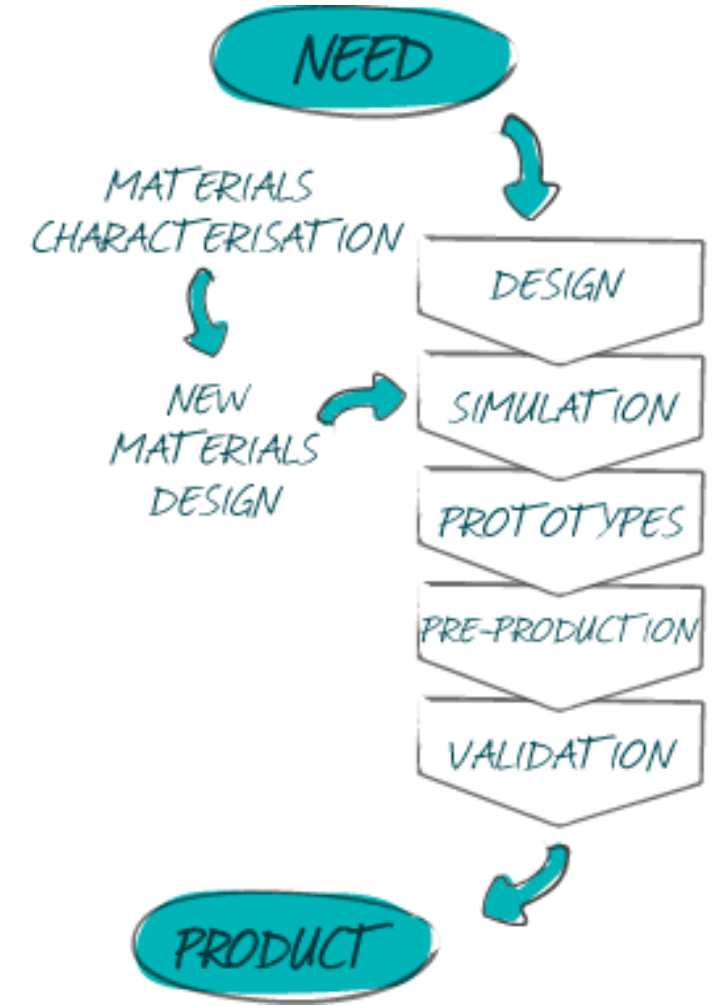
medioambiente



aeronáutica



ÁREAS DE ESPECIALIZACIÓN TECNOLÓGICA



Industrial requirements of our clients



Quality improvement



Weigh reduction



New processes and products

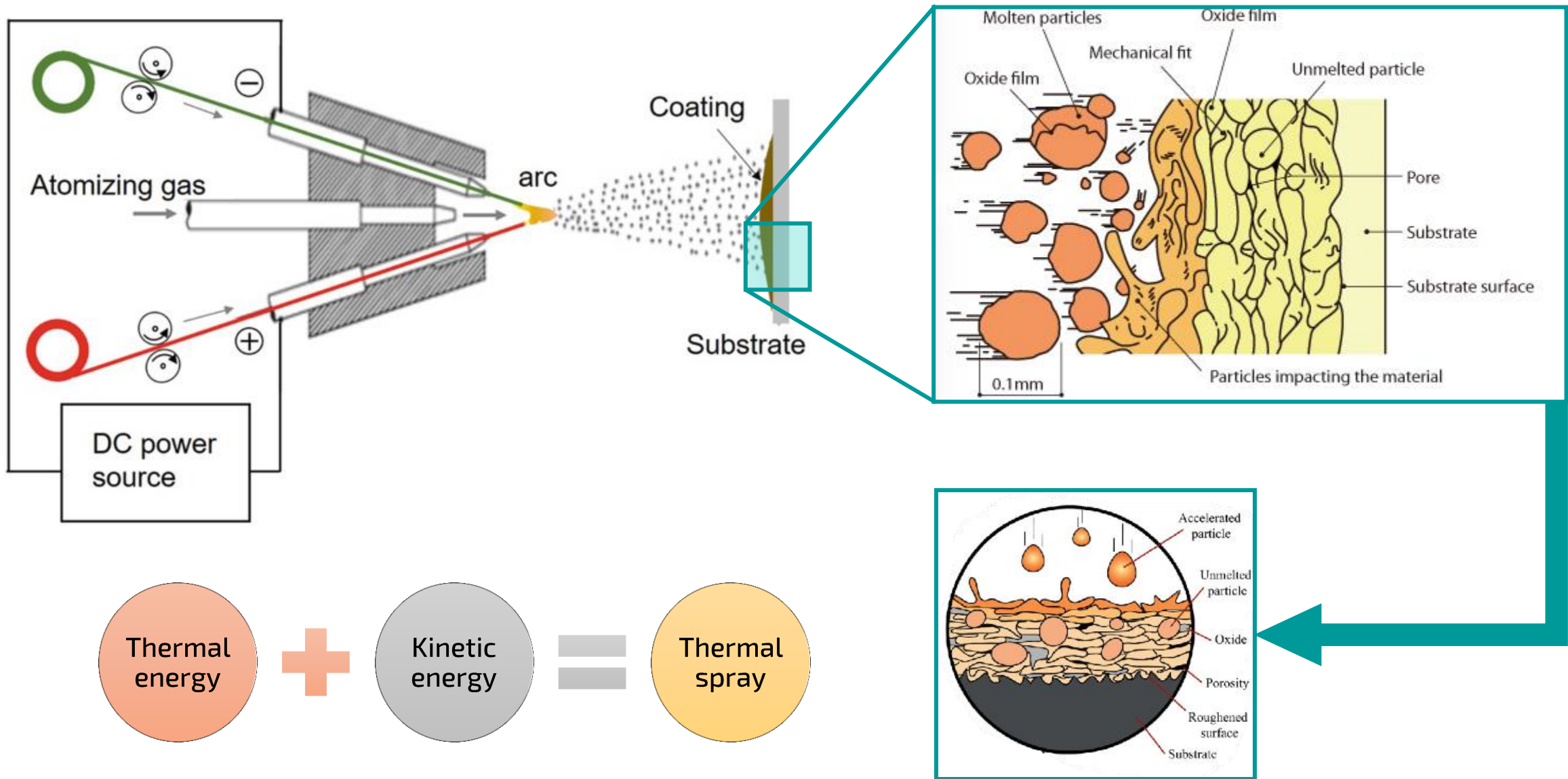


Cost reduction

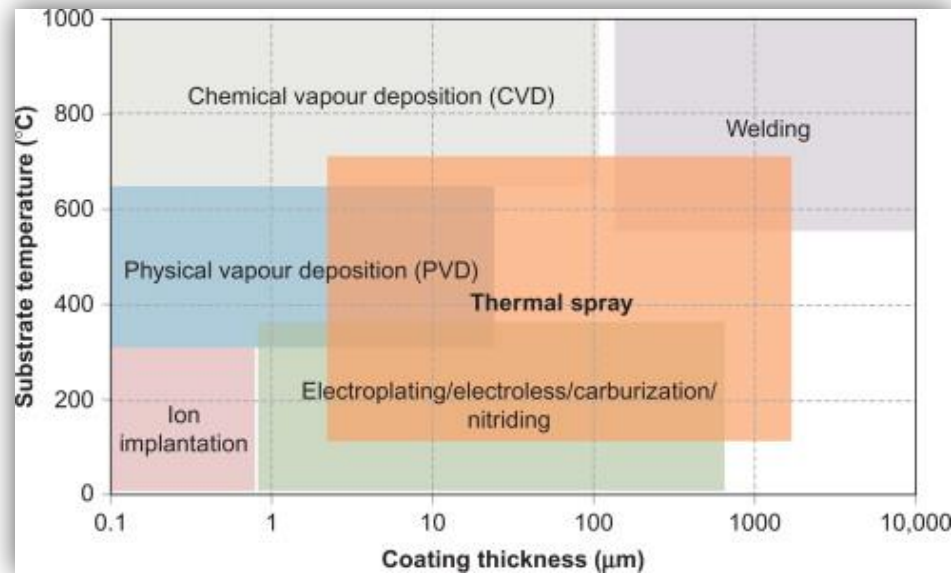
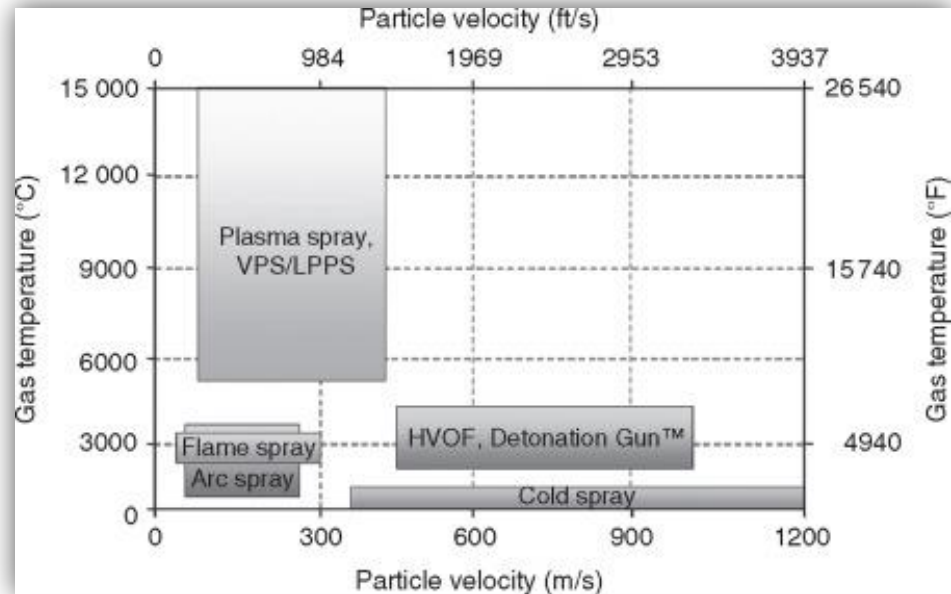


Eco-friendly

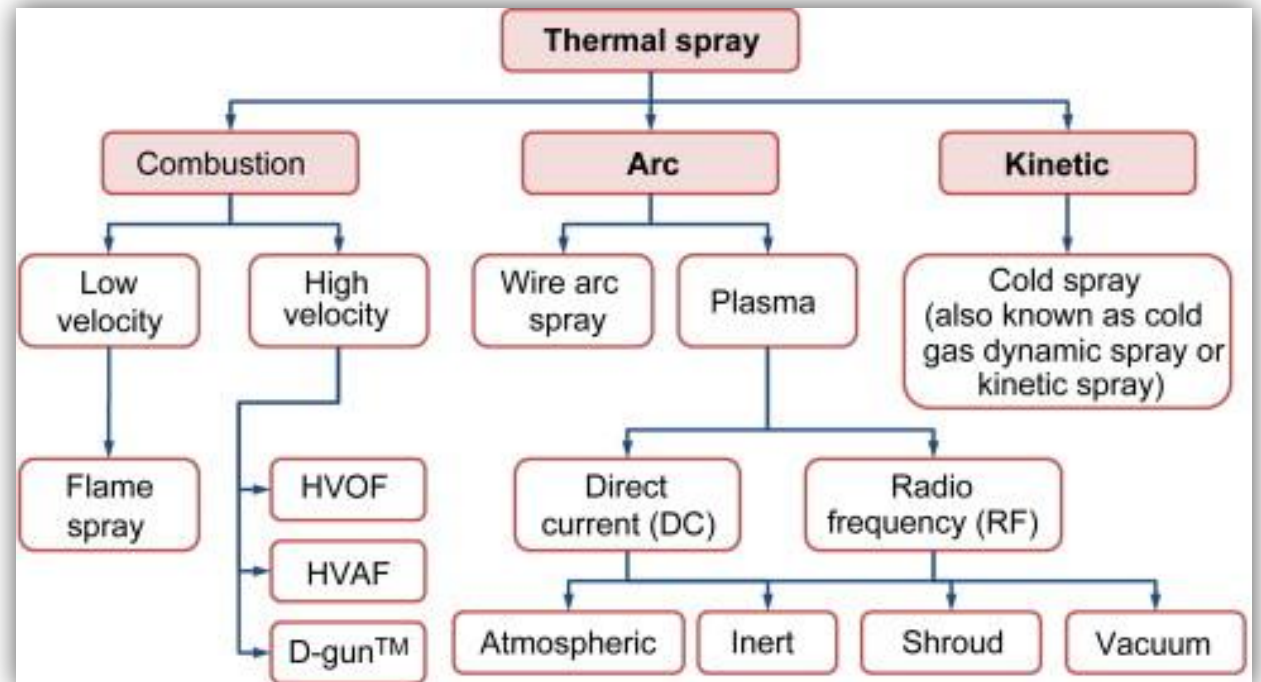
FUNDAMENTOS PROYECCIÓN TÉRMICA (I)



FUNDAMENTOS PROYECCIÓN TÉRMICA (II)



Clasificación de procesos de proyección térmica



PROYECCIÓN TÉRMICA SOBRE SUSTRATOS COMPOSITE



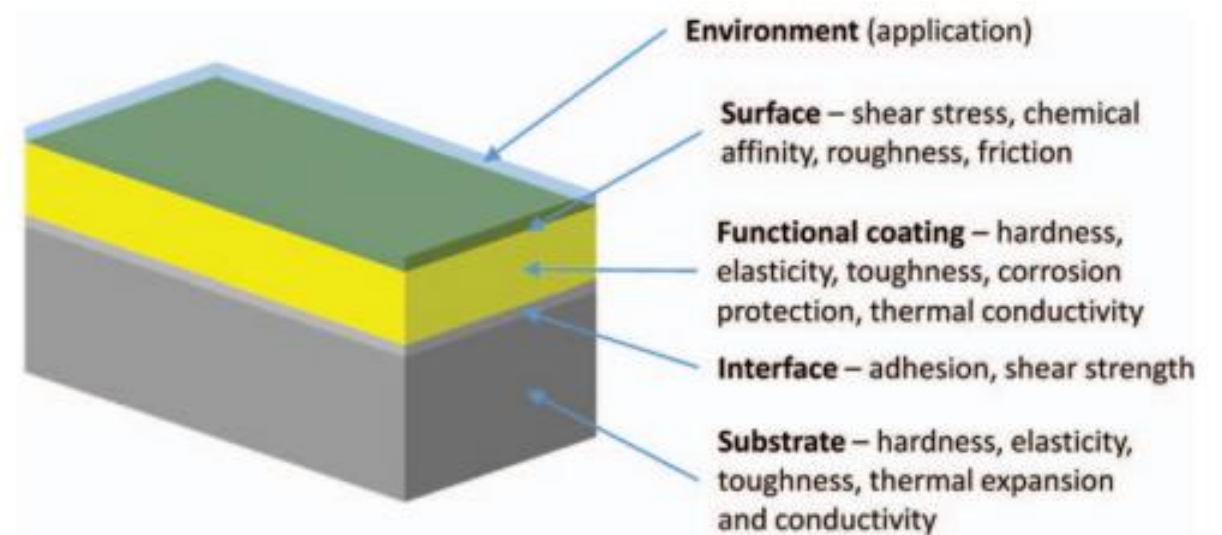
Los procesos de proyección térmica pueden emplearse para mejorar las **propiedades superficiales** de sustratos composite



La **calidad de la adhesión** y la **degradación mecánica** del sustrato son problemas frecuentes

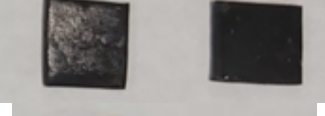
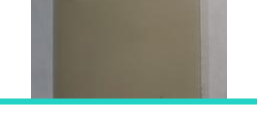


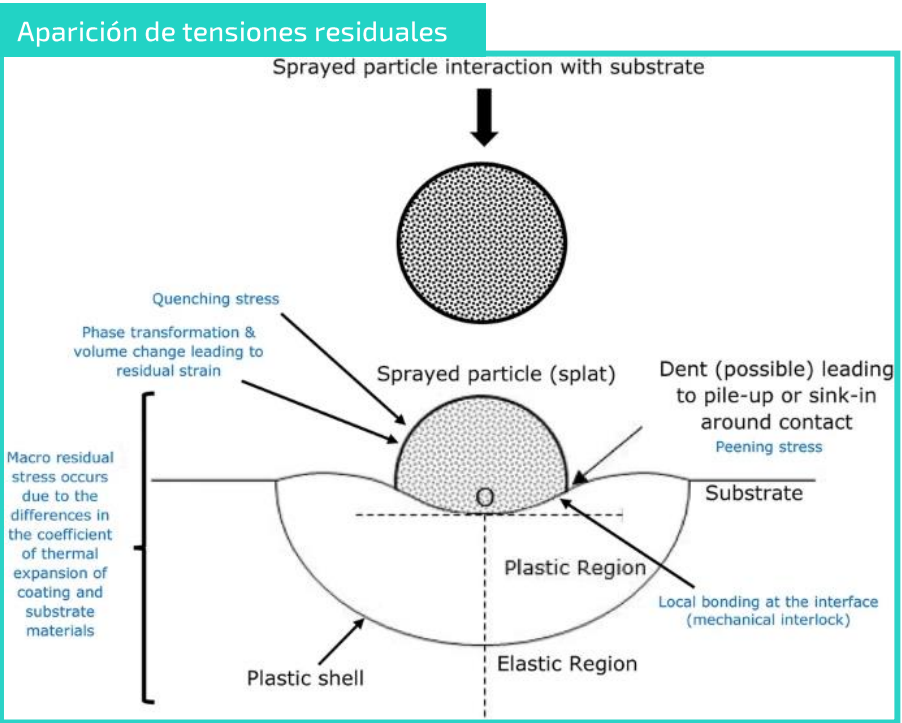
La **caracterización mecánica** enfocada a la aplicación objetivo, es imprescindible para asegurar el correcto funcionamiento en servicio



PROBLEMÁTICA

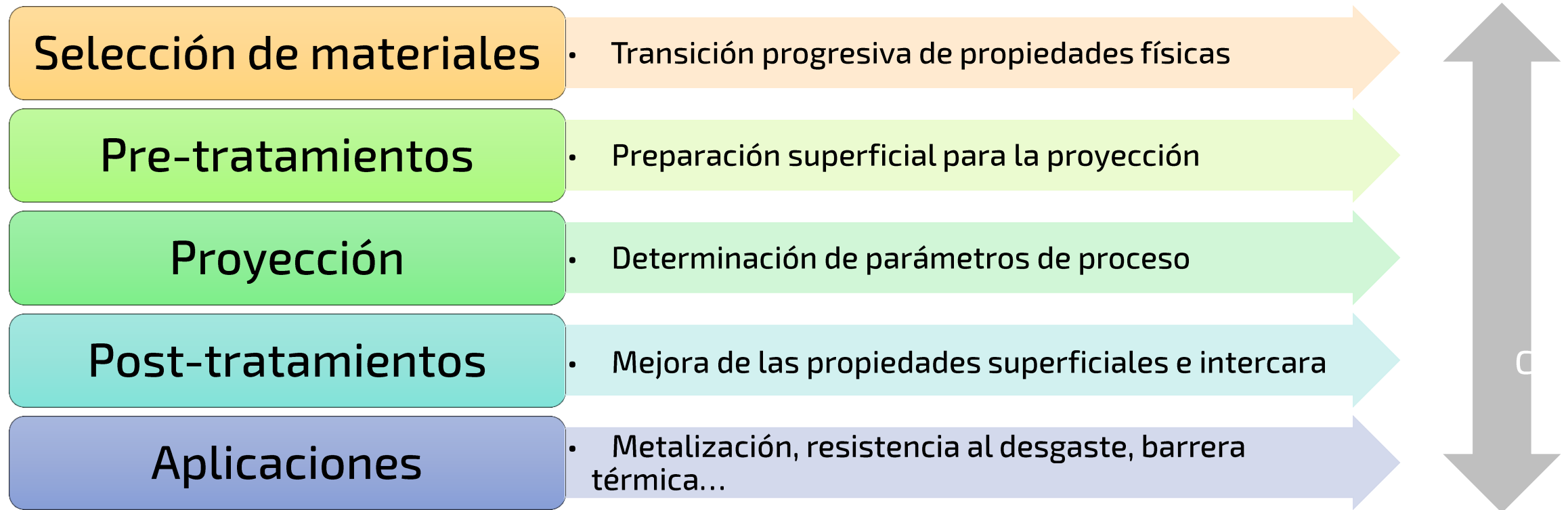
Los procesos de proyección térmica se utilizan ampliamente sobre sustrato metálico. Sin embargo, su aplicación sobre sustrato composite/plástico técnico es más compleja, debido fundamentalmente a la **menor resistencia térmica** de estos materiales, y a la **mayor diferencia de propiedades** entre materiales sustrato y de recubrimiento

Degradación térmica del sustrato durante el proceso			
	Estado Inicial	200 °C (20 s)	300 °C (20 s)
Epoxy/GF			
Epoxy/CF			
PEI			
PEEK			
PA			

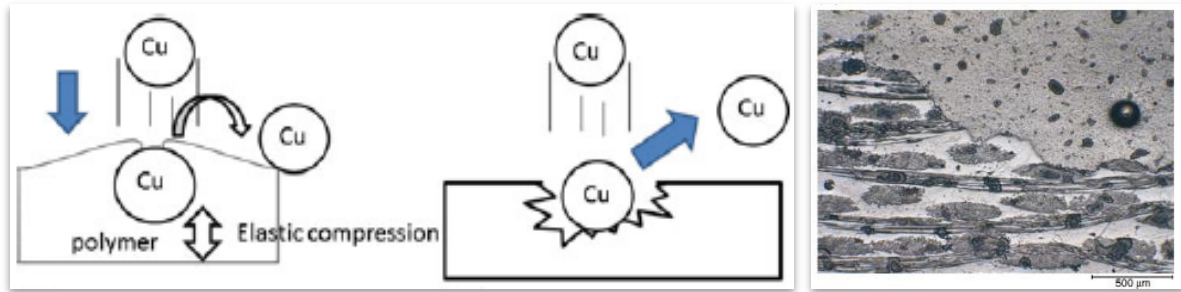


METODOLOGÍA

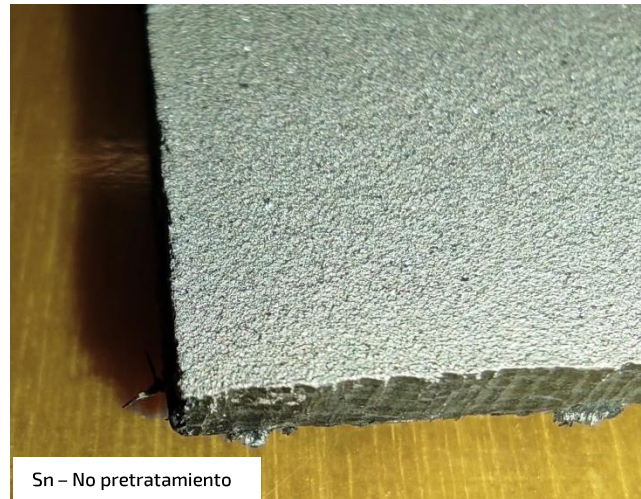
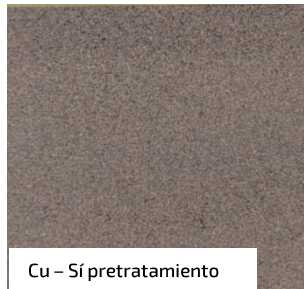
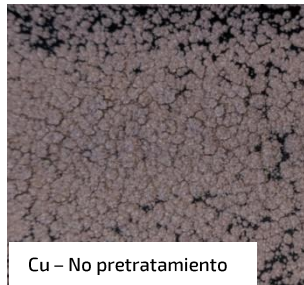
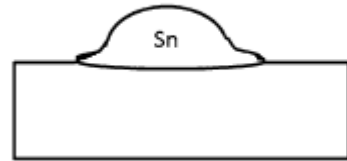
La calidad de la adhesión obtenida entre el sustrato y el recubrimiento es el resultado de la combinación de tres procesos: pre-tratamiento, proyección y post-tratamiento



PRE-TRATAMIENTO: PREPARACIÓN SUPERFICIAL DE LOS SUSTRATOS



Sustratos sin preparación superficial pueden sufrir degradación sin conseguirse una adhesión correcta de las partículas proyectadas



La viabilidad de llevar a cabo un proceso de proyección térmica sin preparación superficial previa depende también de las características (Tf, dureza, etc.) del material proyectado

LA PROYECCIÓN POR ARCO ELECTRICO (I)



Variables de proceso

- **Proyección por arco eléctrico (WAS)** → Voltaje, intensidad, distancia, apertura del chorro, presión, ...
- **Proyección por plasma (APS)** → caudal de material de aporte, ratio de gases, carrier, distancia, ...

Buenas prácticas

- Eliminación de humedad del material
- Precalentamiento del sustrato
- Control de temperatura durante el proceso: velocidad de pasada, número de pasada, tiempo entre pasadas
- Reducir input térmico y aumentar input cinético puede ayudar a mejorar el resultado (cold spray)

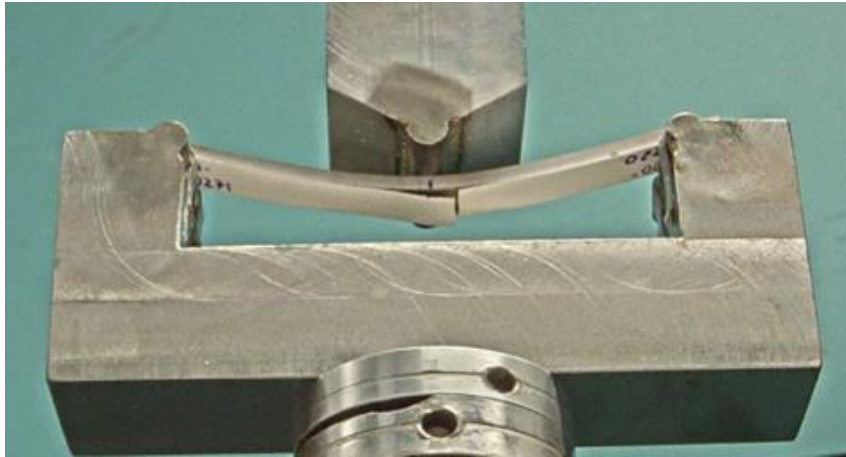
POST-TRATAMIENTOS

Post-tratamientos
para mejora de
propiedades

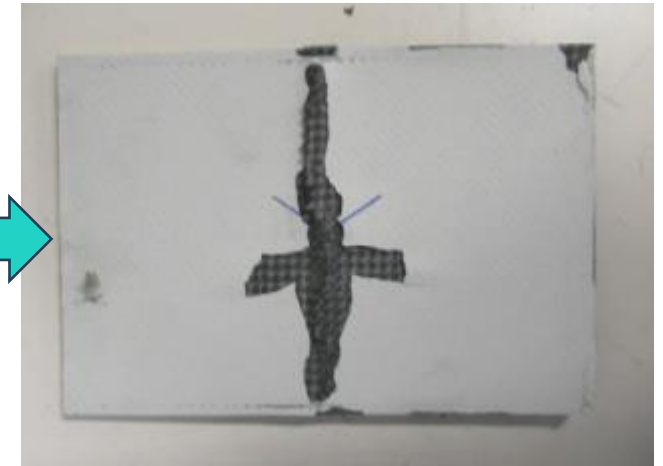
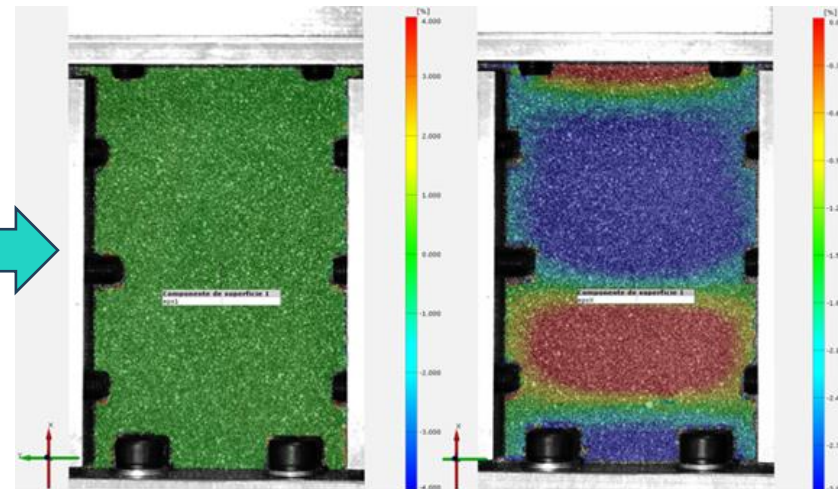
OBJETIVO del post-tratamiento a aplicar	Tipo de post-tratamiento		
	Mecánico	Térmico	Químico
Ajuste del espesor del recubrimiento			
Compresión de la capa proyectada			
Cohesión del material de la capa proyectada			
Alivio de tensiones residuales			
Cambio micro-estructural / recristalización			
Eliminación óxidos superficiales			
Cierre de la porosidad / eliminación de grietas			
Superficial			
Interna (densificación)			
Variación de propiedades:			
Rugosidad superficial			
Tribológicas (desgaste, fricción, etc.)			
Resistencia a fatiga			
Resistencia a corrosión			
Tenacidad a la fractura			
Módulo elástico			
Dureza superficial			

CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL

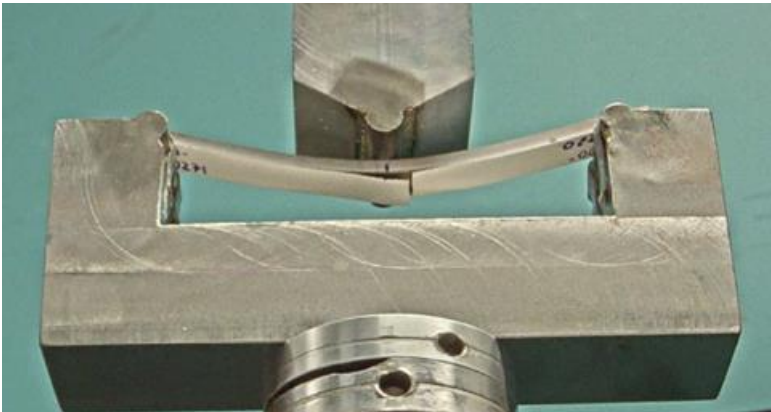
Ensayos de flexion a tres puntos



Ensayos de compresión tras impacto

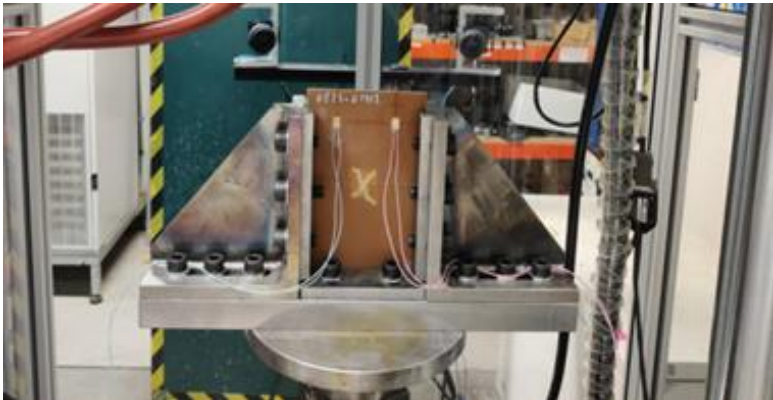


Ensayos de flexion a tres puntos



Material	ϵ (%)	σ (Mpa)
CFRP sin recubrir	1.84	663
CFRP Rec. Al2O3	2.06	526
GFRP sin recubrir	2.83	405
GFRP Rec. Al2O3	3.05	343

Ensayos de compresión tras impacto



Material	F (kN)	σ (Mpa)
CFRP sin recubrir	85.26	209.44
CFRP Rec. Al2O3	86.03	203.54
GFRP sin recubrir	70.67	158.36
GFRP Rec. Al2O3	75.72	151.52

CONCLUSIONES

1. La **selección de materiales** sustrato y recubrimiento en función de la aplicación objetivo es crítica para garantizar la **adhesión** del recubrimiento y su **durabilidad**.
2. La **preparación superficial** del recubrimiento (= rugosidad) es esencial para posibilitar la **deposición exitosa del recubrimiento**.
3. Hay un **riesgo alto de dañar termo-mecánicamente el sustrato** composite durante el proceso de proyección térmica.
4. En los ensayos de flexión a tres puntos, se observó:
 - a) A iguales parámetros de proyección, la **adhesión** del recubrimiento es **mejor en termoplásticos**.
 - b) A iguales parámetros de proyección, la **adhesión** del recubrimiento es mejor en **composites con refuerzo de fibra de vidrio**.
5. En los **ensayos CAI**, se registró una **pérdida limitada de propiedades** ($\approx 7\%$ menor resistencia) tras la proyección térmica.

GRACIAS

 Jorge Velasco Manrique

 jorvel@cidaut.es

 +34 983548035

