

**MEMORIA DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS  
PROYECTOS DE INNOVACIÓN EDUCATIVA  
VICERRECTORADO DE INNOVACIÓN Y CALIDAD DOCENTE  
CURSO ACADÉMICO 2012-2013**

**DATOS IDENTIFICATIVOS:**

**1. Título del Proyecto** RECUBRIMIENTOS TÉCNICOS EN SUPERFICIES METÁLICAS: ACTIVIDAD TRANSVERSAL ENTRE ASIGNATURAS DEL GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELÉCTRICIDAD Y ELECTRÓNICA INDUSTRIAL.

**2. Código del Proyecto** 125045

**3. Resumen del Proyecto**

El proyecto ha consistido en seleccionar una serie de piezas, identificar las necesidades técnicas exigibles al recubrimiento, seleccionar el tipo de recubrimiento que debías ser aplicado, realizar el tratamiento superficial y, por último, aplicar el recubrimiento en cada uno de ellas. De este modo se han desarrollado y descrito los procedimientos para el pretratamiento superficial de las piezas y, con posterioridad, se han descrito los sistemas de aplicación y de polimerizado de los recubrimientos aplicados.

El objeto final del proyecto es el de dotar al alumno de los medios necesarios para identificar los ítem que desde el punto de vista de la ingeniería de superficies se deben realizar para seleccionar y aplicar la solución técnica adecuada para los requerimientos exigibles a los recubrimientos superficiales.

**4. Coordinador/es del Proyecto**

Nombre y Apellidos	Departamento	Código del Grupo Docente
Guillermo Guerrero Vacas	Departamento de Mecánica	94

**5. Otros Participantes**

Nombre y Apellidos	Departamento	Código del Grupo Docente	Tipo de Personal
José Manuel Sánchez Jurado	Departamento de Mecánica	094	trámite
Oscar Rodríguez Alabanda	Departamento de Mecánica	094	PDI

**6. Asignaturas afectadas**

Nombre de la asignatura	Área de conocimiento	Titulación/es
INGENIERIA DE LA FABRICACIÓN	INGENIERÍA MECÁNICA	GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
INGENIERIA DE LA FABRICACIÓN	INGENIERÍA MECÁNICA	GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA
INGENIERIA DE LA FABRICACIÓN	INGENIERÍA MECÁNICA	GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CÁLCULO Y DISEÑO DE MÁQUINAS	INGENIERÍA MECÁNICA	GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
PROCESOS DE FABRICACIÓN, METROLOGÍA Y CONTROL DE CALIDAD	INGENIERÍA MECÁNICA	GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
FABRICACIÓN ASISTIDA POR ORDENADOR	INGENIERÍA MECÁNICA	GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES	INGENIERÍA MECÁNICA	GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

## **1. Introducción**

En la actualidad sectores industriales como la industria automovilística, aeronáutica, de las máquinas-herramientas, biomédicos, de envasado y alimentación, entre otros, dependen de forma crítica de los recubrimientos superficiales para alcanzar altas prestaciones en multitud de productos frente a fenómenos de corrosión, fricción, desgaste, adherencia, propiedades ópticas, biocompatibilidad, reactividad química, textura externa, etc.

Los procesos de aplicación de estos recubrimientos se realizan por diversos métodos. Así, a modo de ejemplo, se pueden llevar a cabo con procedimientos químicos, por inmersión en caliente, por deposición física en fase vapor (PVD), por deposición química de fase vapor (CVD), por proyección térmica, por medio de pinturas, esmaltes vítreos, etc., e incluso por recubrimientos obtenidos por sol-gel, entre otros.

La gama de productos que se aplican como revestimientos es también extraordinariamente amplia y entre ellos se podría destacar una gran variedad de metales puros, de aleaciones metálicas, de compuestos duros, de materiales cerámicos, de polímeros, etc.

En este proyecto nos centraremos en los recubrimientos antiadherentes, que son revestimientos de origen polimérico o cerámico, utilizados para evitar o, al menos, disminuir, la adhesión de otros elementos a la superficie sobre los que estos se aplican.

Los materiales más usualmente revestidos con aplicaciones antiadherentes son los metales. Existe, no obstante, un número importante de recubrimientos que pueden ser aplicados en productos cerámicos y en algunos polímeros. La aplicación común de estos recubrimientos oscila en espesores que se encuentran entre las 10 a 200  $\mu\text{m}$ .

Disminuir la adhesión o evitarla, aumentar la desmoldeabilidad e incluso mejorar la resistencia a la fricción son los objetivos de mayor interés de este tipo de recubrimientos. Por otra parte, la utilización de masas, pastas, grasas, aceites, alimentos y todo tipo de fluidos e incluso materiales sólidos como polímeros inyectados, extrusionados, laminados, etc., en la industria, exige que se lleve a cabo un desplazamiento a través de los equipos que los procesan. En muchas ocasiones el contacto de estos productos con las superficies de estos equipos produce suciedad, adherencia, corrosión, agarre o elevado rozamiento, lo que puede llegar a inmovilizar la producción o que la entorpezcan de forma severa. La adecuada aplicación de los recubrimientos antiadherentes consigue, en definitiva, minimizar estos inconvenientes y mejorar los procesos productivos.

Los recubrimientos de sustratos metálicos, particularmente con fluoropolímeros, son extensamente utilizados desde hace más de seis décadas debido a sus excelentes propiedades de antiadherencia, desmoldeo e inercia química. Los recubrimientos fluorados son la forma más eficiente de prevenir la adhesión ya que el flúor es el elemento químico más electronegativo, con baja afinidad por captar electrones de otros elementos. Cuando el flúor se une a una superficie, la energía superficial de ésta decrece, siendo menos afín a líquidos de mayor tensión superficial (como el agua o el aceite)

## **2. Objetivos**

El objetivo final del proyecto es identificar y seleccionar una serie de piezas a las que le es necesario aplicar un recubrimiento antiadherente. Se trata de identificar con claridad la necesidad, establecer las posibles soluciones, identificar el recubrimiento más adecuado y desarrollar y documentar el

procedimiento para su aplicación. Con todo ello se pretende que el alumno se familiarice con la problemática ingenieril que se deriva de adoptar una solución adecuada a unos necesidades o requerimientos para las piezas seleccionadas.

Se han seleccionado los siguientes elementos:

- Rodillo de fotocopiadora
- Bandeja para panificación
- Molde de termoconformado

El alumno, en definitiva, debe integrar los conocimientos que sobre procesos de fabricación, materiales, calidad, etc., se les ha impartido para plantearse la solución más adecuada a un problema práctico real.

### 3. Descripción de la experiencia

Inicialmente estableceremos las especificaciones de las piezas seleccionadas. Para el caso del “rodillo de fotocopiadora” se necesita un recubrimiento de bajo espesor, que no supera los 30  $\mu\text{m}$ , con una alta adhesión al sustrato y una elevada capacidad antiadherente. Además el recubrimiento debe tener un cierto nivel de dureza para evitar el rayado del mismo. Fundamentalmente y, por último, debe evitar la adhesión de todo tipo de tintas.

Para el caso de la bandeja de panificación ahora se busca un recubrimiento de alta duración al desgaste por la elevada fricción a la que se ve sometida en su uso. También es necesario un recubrimiento con una alta capacidad de desmoldeo y antiadherencia además de que sea capaz de adaptarse sin cambiar sus propiedades a temperaturas cercanas a los 220  $^{\circ}\text{C}$ .

Para el molde de termoconformado se trata de un recubrimiento cuyo objetivo más importante es evitar la adhesión de la lámina polimérica que se conforma. Debe soportar también este recubrimiento el rayado y la temperatura relativamente elevada de uso.

Con posterioridad se implanta después de un análisis detallado de todas las exigencias, el recubrimiento antiadherente de mejor aplicación para cada caso. Para el caso del rodillo de fotocopiadora se selecciona un recubrimiento rico en fluoropolímero del Tipo PTFE de aplicación en tres capas con un espesor total de 25  $\mu\text{m}$ . Para el caso de la bandeja de panificación se selecciona un recubrimiento multicapa con un espesor total de 50  $\mu\text{m}$  compuesto por una dispersión acuosa rica en fluoropolímero PFA. Por último para el caso del molde de termoconformado se selecciona un recubrimiento rico en FEP con un espesor de 35  $\mu\text{m}$ .



**Figura 1. Rodillos de fotocopiadora recubiertos con dispersión rica en fluoropolímero PTFE**



Figura 2. Bandeja para panificación y molde de termoconformado recubierto con dispersión rica en PFA, en un saó y en el otro con dispersión ricas en FEP

#### 4. Materiales y métodos

Los recubrimientos fluoropoliméricos que han sido estudiados se han limitado a recubrimientos ricos con FEP, PTFE y PFA. Esto es debido a que los dos tipos mencionados cubren de forma adecuada dos tipologías de recubrimientos de fluoropolímeros con cualidades distintas. Por un lado los recubrimientos con PTFE están formados por sistemas multicapas que oscilan en espesores entre 10-40  $\mu\text{m}$ . Se trata habitualmente de formulaciones resueltas por medio de dispersiones acuosas que son aplicadas por sistemas de rociado convencional y en los que la capa final, rica en PTFE, polimeriza a modo de difusión superficial, similar a un proceso de sinterización, sin formar un film [Drobny, 2005] [McKeen, 2006].

Los recubrimientos fluoropoliméricos con FEP o con PFA son en la actualidad resueltos, de igual modo, con sistemas multicapa pero, preferiblemente, la capa final rica en fluoropolímero es aplicada en polvo. Tanto los fluoropolímeros con PFA o con FEP forman un film o lámina en la capa final y, por ello, son considerados termoplásticos, más típicamente. Los espesores de los recubrimientos terminados con FEP o PFA son de igual magnitud entre sí y, en general, de dos a tres veces o más superiores a los obtenidos con PTFE. Un recubrimiento típico en FEP o PFA tiene un espesor entre 50-100  $\mu\text{m}$ , dependiendo de la aplicación. Entre ambos tipos de recubrimientos, FEP y PFA, la diferencia sustancial se obtiene por la capacidad de alcanzar más altas temperaturas en el PFA que en el FEP.

Una vez seleccionado los recubrimientos los sustratos han sido preparados adecuadamente. Para ello se ha realizado un chorreado con corindón de la superficie y una posterior aplicación mediante pistola



Figura 3. Equipo de chorreado manual (izquierda). Equipo de pintura manual HVLV para aplicación de las formulaciones líquidas (derecha)

Las piezas una vez aplicados los recubrimientos deben ser polimerizadas para ello se ha utilizado un horno eléctrico de 45 kW sobre el que se han depositado en los correspondientes carros. El citado horno ha sido programado según las curvas de polimerizado que los suministradores y la literatura técnica propone [Ebnesajjad et al, 2004] de los recubrimientos proponen.



Figura 4 Horno para secado y/o polimerizado

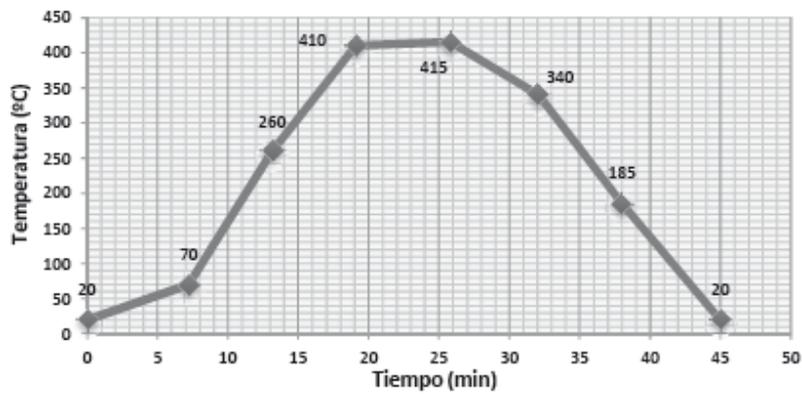


Figura 5. Curvas de polimerizado de los recubrimientos ricos en PTFE

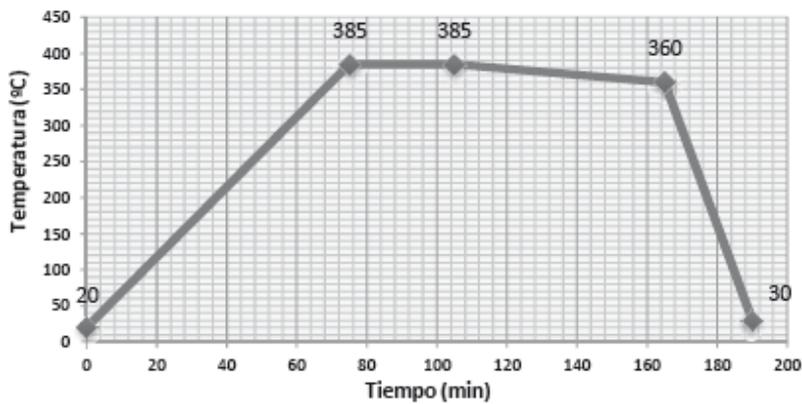


Figura 6. Curvas de polimerizado de los recubrimientos ricos en PFA y FEP

## 5. Resultados obtenidos y disponibilidad de uso

Todo el proceso descrito de selección, tratamiento y aplicación de los distintos recubrimientos ha sido descrito adecuadamente en una serie de fichas que recogen con detalle los pasos seguidos.

APLICACIÓN DEL FEP				
ID. ENSAYO	APLICACIÓN Y POLIMERIZADO DEL FEP. ENSAYO PR 3			
FECHA	2011-2012			
MATERIAL	CHAPA DE ALUMINIO. ALEACIÓN EN Al-Mg <sub>2</sub> (EN AW-5251 H34)			
ESTADO				
UBICACIÓN	TÉCNICAS Y MATERIALES ANTIADHERENTES DE CÓRDOBA S.L			
PROBETA	Ancho [mm]	Largo[mm]	Espesor[mm]	Nº
	140	120	1,2	
EQUIPO	EQUIPO DE CHORREADO MANUAL EQUIPO DE PINTURA HVLP. HORNO ESTÁTICO 40 kW EQUIPO DE PINTURA EN POLVO. CABINA DE PINTURA EN POLVO. HORNO CONTINUO 60 kW			
IMAGEN				

Figura 7. Ejemplo de hoja inicial de la ficha de aplicación del FEP

Con estas fichas creadas se ha generado un documento que nos permitirá en el futuro ilustrar adecuadamente los pasos a seguir para intentar adoptar la mejor solución técnica para la selección de un recubrimiento.

## 6. Utilidad

Con el proyecto desarrollado se mejora el estudio global de los procesos industriales de fabricación ligados a la problemática de la ingeniería de superficies lo cual va a permitir un mejor aprovechamiento de los recursos por parte de la universidad.

Los ejemplos resueltos se implementarán en alguna de las sesiones durante las prácticas que tratan los procesos de fabricación en la asignatura de Ingeniería de fabricación de 2º Curso del título de graduado en ingeniería Eléctrica, Mecánica y electrónica industrial y Cálculo y Diseño de Máquinas de 3º curso del título de Graduado en Ingeniería Mecánica. La experiencia está abierta a todo aquél que en el ámbito de la fabricación mecánica quiera incidir en cualquiera de los ámbitos anteriormente mencionados y directamente relacionados con los procesos industriales de fabricación son el diseño de producto, desarrollo de procesos, control de

procesos, control dimensional, calidad de materiales, etc... en principio profesores del Departamento de Mecánica.

#### 7. **Observaciones y comentarios**

Uno de los objetivos iniciales de este proyecto era elaborar un catalogo de piezas que pudieran servir de ejemplo para ilustrar el procedimiento de aplicación de un recubrimiento industrial. Este objetivo ha sido alcanzado pero aún quedan muchos tipos de recubrimientos que no han podido ser abordadas en este proyecto fundamentalmente por falta de recursos.

También somos conscientes que la labor realizada es un trabajo en permanente cambio y que muchos de las piezas propuestas pueden ser sustituidos, en el futuro, por soluciones aún más claras y de mayor calidad expositiva.

#### 8. **Autoevaluación de la experiencia**

Alguna de las piezas propuestas y sus soluciones, se han incorporado a las asignaturas en la plataforma de enseñanza Moodle. Se han propuesto actividades de análisis y reflexión sobre los contenidos que se mostraban. En general, la respuesta de los alumnos ha sido altamente positiva y las valoraciones de las memorias sobre las distintas actividades propuestas han sido, en general, bastante bien resueltas.

#### 9. **Bibliografía.**

[Drobny, 2005] Drobny, J. *Fluorplastic*. Edit. Rapra Technology Limited. Shropshire. 2005

[Ebnesajjad et al, 2004] Ebnesajjad, S; Khadlkar, P. *Fluoropolymers Applications in Chemical Processing Industrie*. Edit. William Andrews. Nueva York. 2004

[McKeen, 2006] McKeen, L. *Fluorinated coating and finishes handbook*. Edit. William Andrews. Nueva York. 2006

**En Córdoba a 4 de septiembre de 2013**