

EXPERIENCIAS Y PERSPECTIVAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA DE SUPERFICIES EN MÉXICO

A. Barba Pingarrón¹
M. A. Hernández Gallegos²
A. Covelo Villar³

RESUMEN

Partiendo de la definición de la Ingeniería de Superficies, del análisis de su ubicación en el contexto nacional y de la revisión de la situación de su enseñanza en las instituciones educativas nacionales, en este trabajo se describen una serie de estrategias que se han venido desarrollando y aplicando en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, a través del Centro de Ingeniería de Superficies y Acabados (CENISA), para el desarrollo de mejores procesos de enseñanza de esta rama de la ciencia. Se describen las experiencias generadas, en diversos ámbitos. En principio, la propuesta de la asignatura Ingeniería de Superficies, que, por ahora, sólo se imparte, a nivel licenciatura, en la UNAM. Otra estrategia ha sido la elaboración de Cuadernos de Prácticas de Corrosión y de Ingeniería de Superficies. Una segunda estrategia es la generación de un Texto Iberoamericano de Ingeniería de Superficies (TIBIS) y la organización del Primer Encuentro Iberoamericano de Ingeniería de Superficies (I ENIBIS). Finalmente, se ha impulsado la participación de los alumnos en las investigaciones a través de tesis, la presentación de trabajos en congresos y de artículos en revistas. En perspectiva se tiene la realización de la Escuela Mexicana de Ingeniería de Superficies (EMIS) y el II ENIBIS, apoyado con recursos de la UNAM. Los resultados a la fecha son alentadores y las perspectivas muy esperanzadoras.

ANTECEDENTES

Los procesos de deterioro de materiales tales como la corrosión, el desgaste ó la fatiga, son fenómenos que fundamentalmente ocurren en la superficie y sus efectos en la industria mexicana, aunque existen pocos estudios al respecto, han sido documentados desde hace casi tres décadas (Ávila y Genescá, 1985). Al tiempo, existen evidencias para dejar claro que las atmósferas en México son diversas, pero de algún grado de agresividad importante en casi todo el país, como se puede evidenciar en la Figura 1 (Mariaca, Genescá et al, 1997), que provocan gastos económicos y serios daños a componentes, equipos e instalaciones de la planta industrial, por ejemplo, en Veracruz. Como se puede apreciar en la Tabla I (Ramírez et al, 2011).

¹ Coordinador del Centro de Ingeniería de Superficies y Acabados. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. arbapin5@gmail.com.

² Secretario del Centro de Ingeniería de Superficies y Acabados. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. mahg22@yahoo.com.

³ Realizando estancia Postdoctoral. Departamento de Ingeniería Metalúrgica. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México. acovelo@gmail.com.



Figura 1. Agresividad atmosférica de diversas regiones en México. Proyecto MICAT (Mariaca, 1997)

Tabla 1. Costo de algunos métodos de protección contra la corrosión. (Ramírez, 2011)

Método de protección	% del costo	Costo en pesos x 10 ⁶
Recubrimientos anticorrosivos	89.45	1,194.61
Aleaciones especiales	6.34	84.67
Inhibidores de corrosión	0.91	12.16
Ingeniería de plásticos y polímeros	1.48	19.76
Protección catódica y anódica	0.82	10.95
Servicios de control de la corrosión	1.00	13.36
Total	100.00	1,335.51

En cuanto al tema del desgaste, aunque no hay reportes o estudios acerca de su relevancia en el país, una forma de poder visualizar el creciente interés en este proceso de deterioro superficial, puede ser a través de la revisión de las memorias de congresos nacionales, por ejemplo, los organizados anualmente por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica (SOMIM). De ello se puede derivar, al menos de forma indirecta, como es un tema cada vez más recurrente y que se estudia y evalúa desde diversos enfoques y para variadas aplicaciones (López et al, 2011, Hilerio, 2009, Barba et al, 2008). Un ejercicio semejante para el caso de la fatiga puede reflejar comentarios semejantes (Solís et al 2013, Rubio et al, 2008), al observar el incremento de trabajos relacionados con la fatiga de materiales, en la línea de intentar comprender en mayor medida los diversos fenómenos y en el afán de desarrollar nuevos métodos para poder mejorar su rendimiento.

La Ingeniería de Superficies es una rama de la Ingeniería que reúne un gran número de tecnologías de superficie y que ha venido revisando y desarrollando técnicas de caracterización por medio de las cuales, cada vez con mayor precisión, se pueda modificar la superficie de un material para poder, de la forma más amigable con el medio ambiente y al menor costo posible, alargar la vida útil, plantear posibilidades de sustitución de materiales y, por supuesto, reparar y recuperar materiales y componentes y en virtud de los diversos aspectos mencionados en párrafos anteriores resulta de la mayor relevancia el desarrollarla en el país para conseguir mejorar la eficiencia de equipos, incrementar la vida de sus componentes, hacer más eficiente el uso de las energías, sean estas renovables o no y colaborar así, de modo cada vez mas importante, al desarrollo tecnológico y a la economía del país.

Tomando en cuenta las condiciones señaladas en los párrafos anteriores, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se decidió, al cabo de varios años de llevar a cabo trabajos de investigación orientados al desarrollo de diversas tecnologías de superficie, configurar inicialmente un grupo de profesores y posteriormente constituir el Centro de Ingeniería de Superficies y Acabados (CENISA), cuyo propósito, además de incluir la generación de tecnologías de superficie, estaría dirigido a preparar recursos humanos de alta calidad en el campo de la Ingeniería de Superficies, para que pudiesen incidir y ayudar al crecimiento de la industria nacional. Al paso de los años, CENISA ha venido creciendo en el número de sus integrantes y de estudiantes participantes y en la infraestructura y equipamiento con la que se ha dotado.

METODOLOGÍA

Partiendo de los aspectos antes señalados y del diagnóstico de la situación de la Ingeniería de Superficies en el país (Barba et al 2012), en CENISA se ha diseñado una serie de acciones encaminadas a generar un proceso de enseñanza de la Ingeniería de Superficies que fuese incorporando las experiencias que se reuniesen a lo largo de los semestres y, a partir de ello, mejorar la impartición y el aprendizaje de esta rama de la ciencia.

Inicialmente, se diseñó un temario al respecto y se logró incorporar la asignatura *Ingeniería de Superficies* como una materia optativa en los planes de estudio de las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica y la asignatura se ha venido impartiendo ya a lo largo de 8 semestres. Cabe señalar que la Facultad de Ingeniería de la UNAM es, al momento, la única entidad educativa en el país que ofrece esta asignatura a nivel licenciatura y una de las 2 o 3 que la imparten a nivel posgrado.

En un momento posterior y ante la evidencia de que existía muy poca literatura sobre el tema en español y que, de hecho, no existe hasta ahora un texto en México relacionado con el tema, se emprendió el proyecto de solicitar a un grupo destacado de profesionales iberoamericanos que elaborasen un capítulo en el cual cada uno de ellos es especialista reconocido y se ha constituido el Texto Iberoamericano de Ingeniería de Superficies (TIBIS), en un primer tomo, que se tiene planeado aparezca en el transcurso del presente año. En un futuro próximo se planea coordinar la elaboración del 2o Tomo del TIBIS y el Texto Iberoamericano de Ingeniería de Manufactura (TIBIM), para complementar el TIBIS.

Una acción más que se pretende integrar con la anterior, es la generación de Cuadernos de Prácticas. El primero de ellos ya se ha concluido y es el de Corrosión y está por terminarse el Cuaderno de Prácticas de Ingeniería de Superficies.

Con el fin de fortalecer la preparación y capacitación del personal académico que participa en el CENISA, se organizó, en conjunto con el Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Química de la UNAM, el 1er Encuentro Iberoamericano de Ingeniería de Superficies (I ENIBIS). Se tiene contemplado en 2014, asimismo, realizar el II ENIBIS en el que se planea participen como ponentes profesores e investigadores iberoamericanos provenientes de diversos países, como otra estrategia de fortalecimiento y capacitación de los profesores e investigadores nacionales.

En esta misma línea, en este 2014 se llevará a cabo, por primera vez, la Escuela Mexicana de Ingeniería de Superficies (EMIS), en la cual un grupo de estudiantes de diversas entidades educativas del país, previamente elegidos, asistirán durante 3 días, becados, a una serie de conferencias donde varios de los principales investigadores que realizan trabajos en este campo en el país, impartirán conferencias a los estudiantes y podrán intercambiar puntos de vista e ideas tanto con los investigadores como con el resto de los estudiantes que, como requisito previo, deberán estar realizando trabajos, tesis o proyectos en el campo de la Ingeniería de Superficies.

Otra actividad que el CENISA realiza periódicamente es la organización de Seminarios y Conferencias sobre temas asociados a diferentes tecnologías de superficie. En ellos han participado profesores de España, Chile, Cuba y de diversas instituciones educativas y de empresas y asociaciones mexicanas.

En este momento en el CENISA se llevan a cabo proyectos de investigación sobre procesos de niquelado químico, recubrimientos por sol gel, procesos de proyección térmica, anodizado de diversas aleaciones, tratamientos termoquímicos, nitruración iónica, implantación de iones y tratamientos superficiales con energía solar concentrada. En ellos han venido participando estudiantes tanto de nivel licenciatura como posgrado, quienes colaboran en ellos para llevar a cabo servicio social y, principalmente, desarrollar sus tesis de licenciatura y de posgrado.

Una parte relevante de la preparación de los estudiantes que colaboran en CENISA que se realiza con regularidad es la presentación de trabajos en congresos nacionales e internacionales y la elaboración de artículos para su publicación en memorias de congresos y en revistas nacionales e internacionales.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las diferentes estrategias y acciones que se han descrito en párrafos anteriores han dado resultados alentadores. En primera instancia, con la aparición del CENISA, se han solicitado diversos apoyos a la UNAM, a través de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) y ello ha permitido que 2 de los colaboradores del Centro, hayan llevado a cabo estancias postdoctorales, durante 2 años, en entidades y universidades españolas para capacitarse en temas de recubrimientos por sol gel y en concentración de

energía solar, lo que ha permitido abrir y desarrollar esas líneas de investigación en el CENISA. En fechas recientes se han recibido dos postdoctorantes iberoamericanas que se han integrado a colaborar en temas de sol gel y de proyección térmica. En este 2014, dos estudiantes de posgrado llevarán a cabo estancias, uno de ellos en una universidad argentina para capacitarse en temas de desgaste y tribología y el otro, en una universidad andaluza para colaborar en un trabajo de corrosión en arqueometalurgia.

Otros apoyos, a través de proyectos que patrocina la DGAPA UNAM han permitido equipar al Centro y al momento, entre los equipos que se han adquirido, se pueden mencionar pistolas de proyección térmica, equipos de electrohilado y de hot dip para procesos sol gel, equipos de ensayos electroquímicos y equipos para la evaluación de la adherencia y de la rugosidad, entre los más destacados.

Como se mencionó previamente, se ha organizado el I ENIBIS que conjuntó a profesores de España, Portugal y Brasil, a los que se sumaron profesores de diversas entidades nacionales de enseñanza y de investigación, y al cual asistieron estudiantes y profesores de diferentes escuelas y universidades del país. En la Figura 2 se presenta el poster con la información concerniente al I ENIBIS. A este evento acudieron alrededor de 50 estudiantes, básicamente de la UNAM y se piensa poder extender en el II ENIBIS para poder contar con la asistencia de estudiantes y profesionales de otras instituciones.

I ENIBIS 2010
I Encuentro Iberoamericano de Ingeniería de Superficies

CONVOCA: A ESTUDIANTES Y PROFESIONISTAS DEL ÁREA DE SUPERFICIES A ASISTIR AL I ENIBIS 2010 A CELEBRARSE EN LA UNIDAD DE CONSEJOS ACADÉMICOS DE ÁREA DE LA UNAM DEL 6 AL 10 DE DICIEMBRE DE 2010.

CURSOS
MESAS REDONDAS

PROFESORES VISITANTES

Dra. Idalina Vieira Aoki (USP, São Paulo, Brasil)
Dr. Alfonso J. Vázquez Vaamonde (CENIM, CSIC, España)
Dr. Jorge Rickards Campbell (Instituto de Física, UNAM)
Dr. Mikhail Zheludkevich (Universidade de Aveiro, Portugal)
Dr. Pedro Molera Solá (Universidad de Barcelona, España)
Dr. Francisco J. Rodríguez Gómez (Facultad de Química, UNAM)

INSCRIPCIÓN:
ESTUDIANTES \$700.00 M.N.
PROFESORES UNAM \$2000.00 M.N.
PROFESORES EXTERNOS \$ 2800.00 M.N.
PÚBLICO EN GENERAL: \$3700.00 M.N.

MAYORES INFORMES:
TEL (55) 5622 3007
arbapin5@gmail.com
www.ingenieria.unam.mx/dime/

ORGANIZAN: CENTRO DE INGENIERÍA DE SUPERFICIES Y ACABADOS (CENISA), FACULTAD DE INGENIERÍA Y DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM.

Figura 2. Poster asociado a la organización del I ENIBIS 2010 realizado en la UNAM

En cuanto a las experiencias provenientes de la impartición de la asignatura *Ingeniería de Superficies* se pueden señalar algunas destacadas. En la Figura 3 se muestra el temario actual de dicha asignatura, que, en breve, será actualizado como parte de los nuevos planes de estudio que están por adoptarse en la Facultad de Ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA		
PROGRAMA DE ESTUDIO		
INGENIERÍA DE SUPERFICIES	0999	8° 9°
Asignatura	Clave	Semestre
08		
Cédulas		
Ingeniería Mecánica e Industrial	Ingeniería Mecánica	Ingeniería Mecánica
División	Departamento	Carrera(s) en que se imparte
Asignatura: Obligatoria <input type="checkbox"/> Optativa <input checked="" type="checkbox"/>	Horas: Teóricas <input type="text" value="4.0"/> Prácticas <input type="text" value="0.0"/>	Total (horas): Semana <input type="text" value="4.0"/> 16 Semanas <input type="text" value="64.0"/>
Modalidad: Curso		
Seriación obligatoria antecedente: Ninguna		
Seriación obligatoria consecutiva: Ninguna		
Objetivo(s) del curso: Que los alumnos adquieran una visión panorámica de las distintas tecnologías que permiten modificar las superficies de los materiales a fin de dotarlos de propiedades mejoradas que aseguren un rendimiento óptimo.		
Temario		
NÚM.	NOMBRE	HORAS
1.	Introducción	2.0
2.	Técnicas de preparación y caracterización de superficies	10.0
3.	Recubrimientos electroquímicos y químicos	12.0
4.	Procesos por inmersión en caliente	8.0
5.	Tratamientos termoquímicos	10.0
6.	Proyección térmica	8.0
7.	Tratamientos superficiales con haces de alta densidad energética	8.0
8.	Otras técnicas de tratamiento superficial	6.0
		64.0
Total		64.0

Figura 3. Portada del Temario de la Asignatura Ingeniería de Superficies

En primera instancia, el no contar con un texto en español disponible en el país dio lugar a la propuesta y a la elaboración posterior del TIBIS, cuyo primer tomo se ha concluido y con el que se pretende subsanar esa carencia y difundirlo a nivel iberoamericano para su posible empleo. De esas experiencias también derivó la reflexión de la conveniencia de elaborar Cuadernos de Prácticas con el afán de poder complementar con la parte experimental con lo que, al momento se ha concluido un Cuaderno de Prácticas de Corrosión que, en forma electrónica publicará en breve la Facultad de Ingeniería y está por concluirse el Cuaderno de Prácticas de Ingeniería de Superficies que se tiene contemplado publicar, también en forma electrónica, a fines de 2014 o en el primer semestre del 2015 y del que, en la Figura 4, se presenta un ejemplo de los elementos de la portada de una de las prácticas.



Figura 4. Portada. Práctica *Tratamientos Superficiales con Energía Solar Concentrada*

Algunos resultados que evidencian como se han venido incrementando las acciones encaminadas a la mejora de la enseñanza y el aprendizaje de la Ingeniería de Superficies en la Facultad de Ingeniería, se enlistan a continuación.

- (a) A lo largo de los semestres ha ido aumentando el número de estudiantes inscritos en la asignatura
- (b) Se ha incrementado sustancialmente la cantidad de estudiantes participando en proyectos de investigación realizando tesis o servicio social, así como la producción del número de tesis de licenciatura y posgrado concluidas.
- (c) La productividad académica de CENISA es notablemente mayor ahora, en forma de participaciones en congresos nacionales e internacionales y de generación y publicación de artículos en revistas nacionales e internacionales.
- (d) Se han iniciado trabajos conjuntos en proyectos de investigación con otras entidades de la UNAM (Instituto de Física, Centro de Ciencias Nucleares, Instituto de Ingeniería), con otras universidades del país (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo) y de otros países como España (Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, Universidad de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad de Cádiz, Universidad de

Castilla la Mancha), Cuba (Centro Universitario José Antonio Echeverría CUJAE,), Colombia (Universidad Nacional) y Argentina (Universidad Nacional del Sur).

(e) Los procesos de enseñanza - aprendizaje de la Ingeniería de Superficies en la Facultad de Ingeniería se han ido enriqueciendo por medio de la generación e incorporación de diversos recursos didácticos, tales como las sesiones prácticas, uso de prácticas interactivas para reforzar temas de Química, experiencias en el aula, videos, conferencias, visitas, análisis de artículos de revistas internacionales, empleo de sitios interactivos de la red internet, etc., lo que ha incrementado el interés de los estudiantes, su motivación, se han conseguido aprendizajes significativos y que un buen número de ellos se incorpore a trabajos de investigación y a realizar sus tesis en CENISA.

CONCLUSIONES

1.- La Ingeniería de Superficies permite alargar la vida útil de piezas, recuperar componentes deteriorados e incluso poder sustituir materiales. Su desarrollo puede incidir de manera importante para conseguir importantes ahorros de energía y de recursos económicos para el país.

2.- Es fundamental incrementar la difusión de esta rama de la ciencia y promover una enseñanza de la Ingeniería de Superficies que sea actualizada y de alta calidad para que sea capaz de preparar los recursos humanos de excelencia que el país requiere.

3.- La elaboración del Texto Iberoamericano de Superficies (TIBIS) y de dos Cuadernos de Prácticas de temas ligados a la Ingeniería de Superficies, puede contribuir a llenar la carencia de textos, en estos temas, en el país.

4.- La cada vez mayor participación de los estudiantes en su propio proceso de aprendizaje, enriquecido con los diversos recursos didácticos que se han venido sumando al proceso de enseñanza y con la incorporación, en diversas formas, de los alumnos en proyectos de investigación está generando aprendizajes significativos de la Ingeniería de Superficies en ellos, objetivo fundamental de este proyecto.

5.- Los resultados logrados son muy alentadores pero será necesario seguir adicionando acciones a este proceso y seguir monitoreando el proceso, de modo que la Facultad de Ingeniería de la UNAM, se convierta en breve plazo, en una referencia en este campo, a nivel nacional e iberoamericano.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean expresar su reconocimiento al Proyecto PAPIME PE103012 "Desarrollo de Estrategias para el Mejoramiento de la Enseñanza de la Ingeniería de Superficies en México", por su apoyo para llevar adelante este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Avila J., Genescá J. 1985, *Corrosión y Protección en la Industria Química Mexicana*. Ciencia y Desarrollo. No 64, año XI. Septiembre - Octubre 1985. pp. 103-111.

Mariaca L, Genescá J, Uruchurtu J, Hernández L. 1997, "*Corrosividad Atmosférica. (MICAT- México)*". México. Plaza y Valdés Editores.

- Ramírez J., Pereyra D., García N, Valencia L, Juárez V. 2011. *"La corrosión atmosférica y su impacto en la economía veracruzana"*. La Ciencia y el Hombre. Revista de Divulgación Científica y Tecnológica. Universidad Veracruzana. Vol. 24 No 1. Enero Abril 2011. ISSN 0187-8786
- López A., Marín J., López E., García L., Hernández T., Hernández J., Romero. 2011. *"Estudio Tribológico del acero AISI 1045 empleando el método pin-disco"*. Memorias del XVII Congreso Internacional Anual de la SOMIM. pp. 670.675. ISBN: 978-607-95309-5-2
- Hilerio I. 2009. *"Influencia de la Oxidación del lubricante en el desgaste de superficies metálicas"*. Memorias del XV Congreso Internacional Anual de la SOMIM. pp. 696 - 702. ISBN 978-607-95309-1-4.
- Barba A., Salas J, Dénova C. Cervantes J., Trujillo M, Roviroza. 2008 *"Resistencia al Desgaste de Aceros Zinalquizados por inmersión en caliente"* Memorias del XIV Congreso Internacional Anual de la SOMIM. pp. 958-965. ISBN 978-968-9773-03-8
- Solís J., Cuevas A., Fuentes O., Velázquez R., Paredes M., Castellanos V., 2013. *"Análisis Teórico de propagación y arresto de grieta para un aluminio de alta resistencia con muesca de forma semielíptica"*. Memorias del XIX Congreso Internacional Anual de la SOMIM. pp. 1003 - 1008. ISBN 978-607-95309-9-0
- Rubio C, Madrigal M., Gómez G. 2008. *"Efecto del Tratamiento Superficial con láser en el crecimiento de grietas por fatiga en aceros al carbono AISI 1045 e Inoxidable AISI 304"*
Memorias del XIV Congreso Internacional Anual de la SOMIM. ISBN 978-968-9773-03-8
- Barba A., Hernández M, Valdez R., Roviroza J., Trujillo M., Cervantes J., Rojas A., Bolarín A., Sánchez F., Molera P. 2012 *"Ingeniería de Superficies. Importancia y estrategias para su enseñanza en México e Iberoamérica"* Memorias del XVIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM. pp. 584 - 591. ISBN 978-607-95309-6-9.