



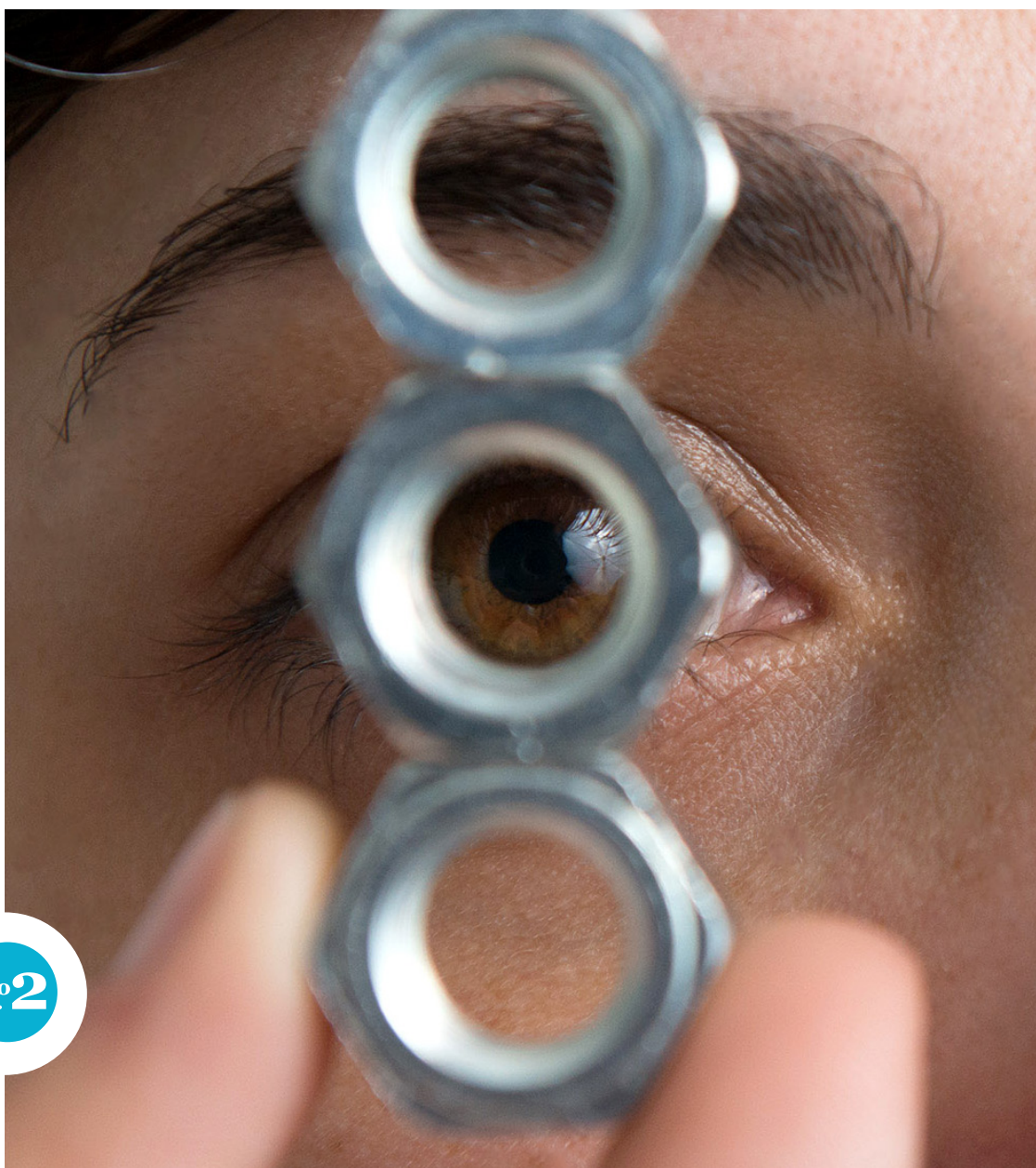
Bioingeniería

CEREBROS,
CORAZONES
Y ALGORITMOS
MATEMÁTICOS

BIOINGENIERÍA
EN MARCHA

TEJIDOS E
IMPLANTES
A MEDIDA

APORTES DEL
CONTROL
AUTOMÁTICO A
LA PEDIATRÍA



A thick, yellow 3D rectangular bar is positioned diagonally across the top of the page, partially overlapping the headline.

NO SIGAS ESPERANDO LO NUEVO. NOSOTROS YA LO TENEMOS.

Mediante soluciones aplicadas
la innovación y el profundo
conocimiento de la industria y
las diversas formas de negocio en
accenture.com/latam/innovating

NEW APPLIED NOW

SUMARIO

STAFF

Comité Editorial

(Por Res. Decano 543/17)

Dr. Ing. Juan Giribet

Ing. Fernando Horman

Dr. Ing. Sergio Lew

Ing. Ariel Stainoh

Coordinador editorial:

Lic. Daniel Krupa

Equipo de producción

Identidad gráfica y diseño

Lic. Daniela Noceti

DG Carla Percivale

Redacción de contenidos

Lic. Daniel Krupa

Jerónimo Liñán

Editor de fotografía

DG Martín Dubovich

Corrección

Bettina Villar

Asistente de producción

Marisol Rivera

Impreso en

Latingráfica

en septiembre de 2017.

Revista .ing es una publicación

de distribución gratuita.

ISSN 2545-7691

La reproducción parcial de los contenidos

de esta publicación deberá ser autorizada

previamente por su Comité Editorial.

Contacto

Av. Paseo Colón 850 - CABA

C1063ACV - Argentina

prensa@fi.uba.ar

www.ingenieria.uba.ar



EDITORIAL

Los vínculos entre la ingeniería y el desarrollo de la industria nacional con la mejora de la calidad de vida de la comunidad.

05

BREVES

Congreso de Ingeniería Industrial. Reconocimiento internacional. La FIUBA en el celular. Nuevos proyectos desde IGPUBA

06 | 07

BIOINGENIERÍA

Cerebros, corazones y algoritmos matemáticos.

08 | 09

BIOINGENIERÍA

Ingeniería en marcha.

10 | 13

BIOINGENIERÍA

Tejidos e implantes a medida.

14 | 18

BIOINGENIERÍA

Aportes del control automático a la pediatría.

20 | 23

ZOOM

Arqueometalurgia

24 | 25

DOSSIER

Sensores de temperatura

26 | 34

NUESTROS GRADUADOS

La FIUBA en el espacio - Ing. Juan Cruz Gallo.

36 | 37

ACTORES DE LA FIUBA

Emérito - Ing. Carlos A. Pérez

38

rip
i
r

editorial



En este mundo globalizado, la tecnología y la ciencia nos llevan a repensar una y otra vez cada uno de nuestros proyectos. Basta con mirar los indicadores desarrollados por entidades especializadas donde se concluye que cuando nuestro país importa un millón de dólares en productos metal-mecánicos y maquinaria, se pierden casi setenta puestos de trabajo: directos, indirectos e inducidos.

La solución a esta coyuntura debe ser acompañada por reglas claras y adoptando a la ingeniería como una de sus bases, ya que el valor agregado que generan los emprendimientos de base tecnológica –principalmente dentro de lo que conocemos como entramado PyME, dada la versatilidad que les brindan sus pequeñas estructuras– pueden absorber los desafíos que plantean los cambios tecnológicos para poder sumarse a la cadena productiva que impulsan, por ejemplo, buena parte de los desarrollos científicos incluidos en esta edición. Ya recorrido un buen tramo del siglo XXI, nadie duda sobre la necesidad estratégica de fomentar la vinculación tecnológica a través de convenios entre el sector público y privado, para que lo que se genera en los laboratorios científicos llegue a nuestra sociedad.

Pero hay un plus en ciertos desarrollos ingenieriles, son aquellos que mejoran drásticamente la calidad de vida de las personas a partir de lo que conocemos como “bioingeniería”, una especialidad a la que le dedicamos este segundo número de *.ing*, en el que planteamos un axioma en el que habrá consenso unánime: hace tiempo que nuestra profesión forma parte del cuerpo humano, ya sea para su diagnóstico, su cuidado y hasta para su recuperación.

Vale señalar que la investigación y el desarrollo de la ingeniería biomédica se ha establecido desde hace años con intensidad en nuestra facultad a partir del impulso de un grupo de investigadores altamente calificados que a través de sus desarrollos están devolviendo a la sociedad lo que la sociedad deposita en nosotros.

De esta forma, en este nuevo número podrán encontrar información valiosa y actualizada sobre modelos matemáticos que permiten mejorar el diagnóstico de pacientes que sufren patologías cardíacas o de epilepsia; el desarrollo de un nuevo dispositivo que facilitará la recuperación de la motricidad en personas que atravesaron un accidente cerebrovascular; la investigación de biomateriales para prótesis y hasta el uso de la regulación automática para ayudar en el tratamiento de niños con déficit cardíaco. La contención y el impulso de este tipo de emprendimientos, entonces, resultan vitales para el desarrollo de un país cuya economía se cimiente ya no en la exportación de materia prima, sino en la más alta tecnología.

Vale agregar, a modo de lectura personal sobre el sumario propuesto, que en cada una de las notas se intuye una característica que también distingue a la ingeniería: el trabajo multidisciplinario y en equipo. De alguna manera, podríamos decir que forma parte de nuestro ADN.

Prof. Ing. Horacio Salgado
Decano de la Facultad de Ingeniería de la UBA

BREVES

01

Congreso Internacional de Ingeniería Industrial

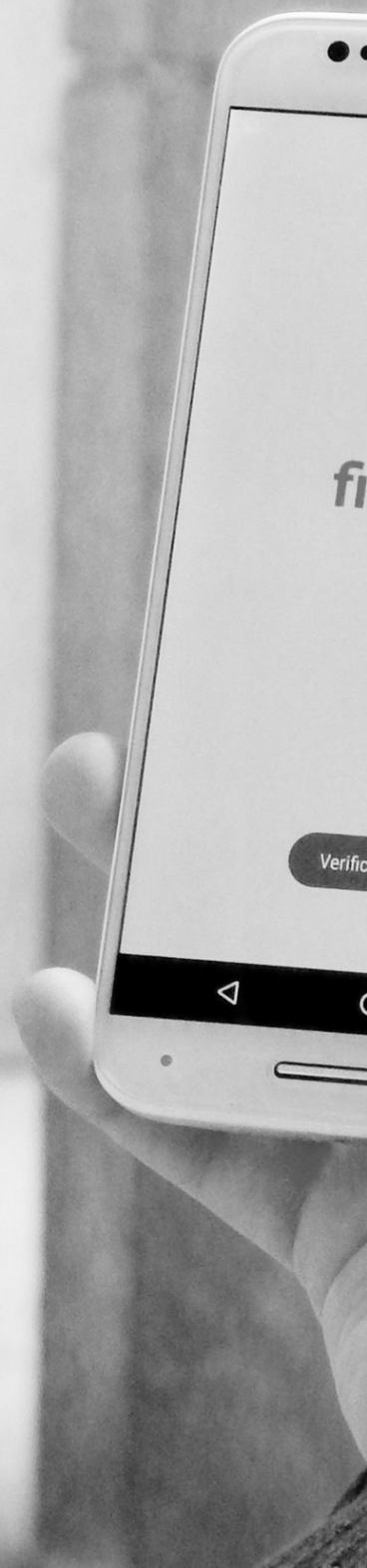
El edificio de Av. Las Heras 2214 será sede de un nuevo Congreso de Ingeniería Industrial y Carreras Afines (COINI 2017), evento internacional, de carácter académico, científico y empresarial, que se desarrollará los días 2 y 3 de noviembre de 2017, y que convoca desde el año 2007 a académicos, investigadores, instituciones y empresarios del país y del mundo, transformándose en el espacio más apropiado para que los expertos publiquen sus innovaciones y las transferan de manera local y global a toda la sociedad.

Consultas e inscripciones: coini2017@fi.uba.ar

02

Embajador del Viento: reconocimiento internacional al decano de la FIUBA

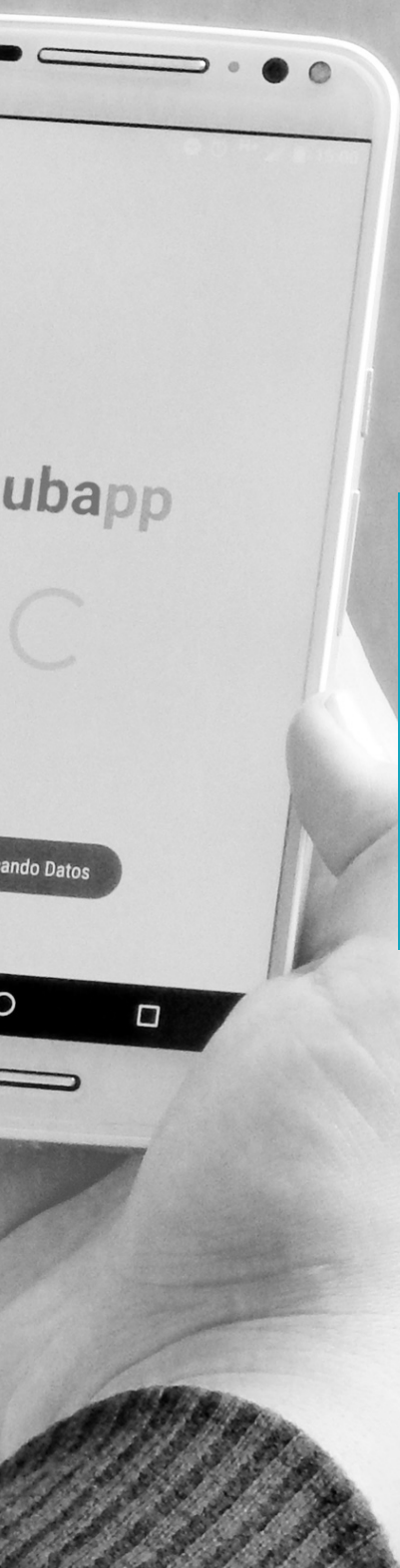
El pasado 15 de junio, en el marco de la celebración del Día Global del Viento, el Decano de la FIUBA, Prof. Ing. Horacio Salgado, recibió la distinción de Embajador del Viento por parte del Global Wind Energy Council. Durante su discurso, Salgado reflexionó en torno a la necesidad de la Argentina de establecer y sistematizar programas energéticos ligados a fuentes renovables. "La Argentina no tenía definida una matriz energética. Perdimos una gran cantidad de fuentes de riqueza por no haber trabajado proyectos a nivel país. Y esto no es de los últimos años, viene de años atrás. Hemos necesitado alrededor de treinta años para darnos cuenta de que la energía eólica es una fuente de energía renovable, útil, económica y limpia. Por eso quisiera aportar una propuesta para el comienzo de mi cargo como Embajador del Viento. Creo que hoy nos toca hacer que lo imprescindible sea lo primordial, como decían los próceres de nuestra historia. Hay que apoyar fuertemente la iniciativa que está teniendo el Ministerio de Energía en este momento. Hay que subirse al tren de las transformaciones", remarcó.



03

La FIUBA en el celular

Ya está disponible una nueva versión de "fiubapp", la aplicación desde la cual la comunidad de alumnos, docentes, investigadores y personal docente de la Facultad de Ingeniería de la UBA puede personalizar el Calendario Académico, consultar la guía de teléfonos con los números IP, como así también expedientes administrativos y fechas de exámenes en SIU Guaraní desde dispositivos móviles. Esta herramienta –impulsada por las áreas “Aplicaciones” de la Secretaría Académica y Comunicación Institucional, de Decanato, y que tiene como objetivo central facilitar la interacción con la FIUBA de manera ágil, contemporánea y personalizada–, ya puede ser descargada desde la plataforma PlayStore. Vale señalar que este desarrollo contempla la incorporación de nuevas funcionalidades.

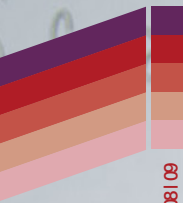


04

Nuevos proyectos desde el IGPUBA

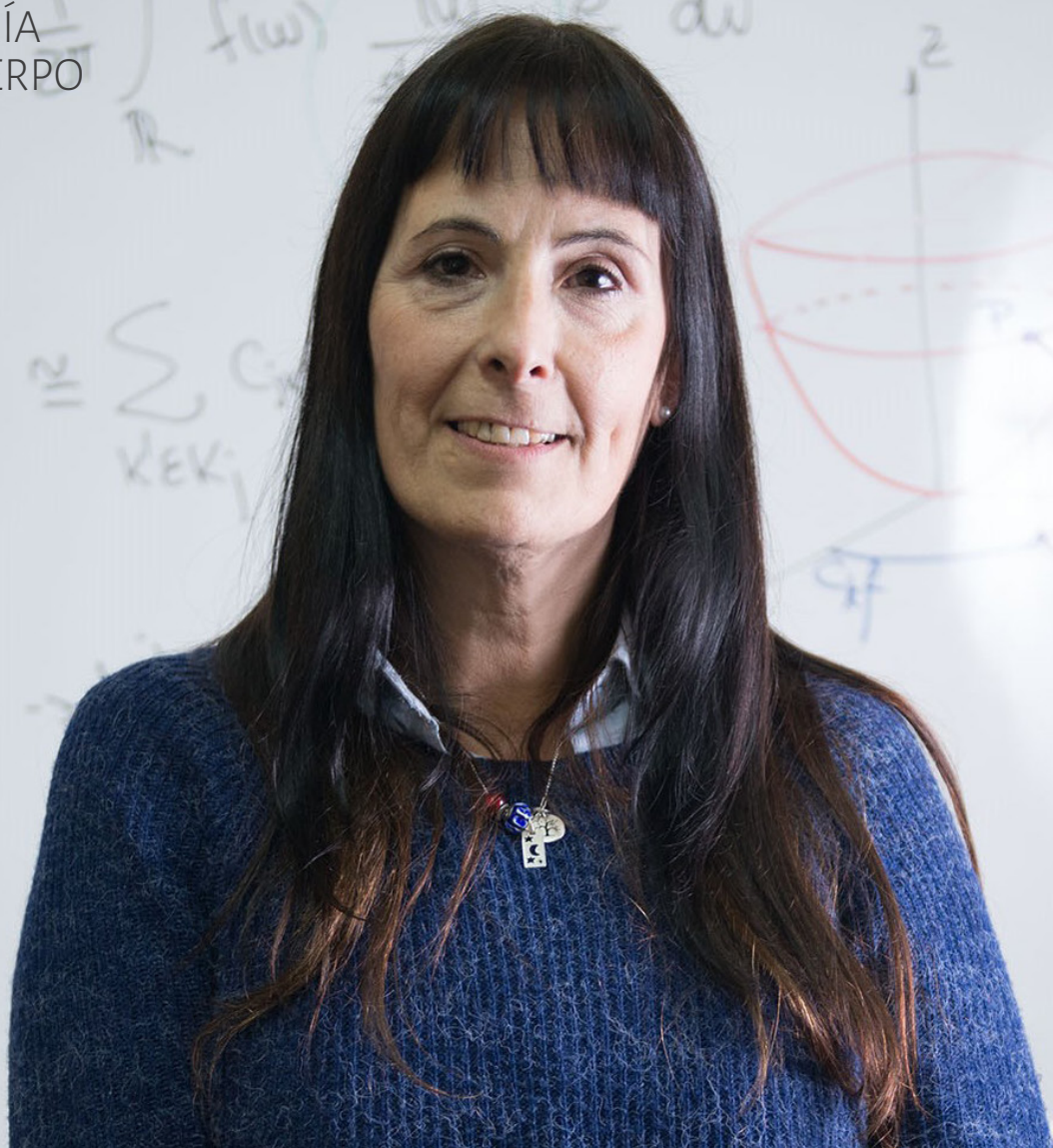
El Instituto del Gas y del Petróleo de la Universidad de Buenos Aires informa la puesta en marcha de un nuevo proyecto de investigación interdisciplinario en sus laboratorios de Geofísica Numérica (LAGENU) y de Ingeniería de Reservorios (LIR). El proyecto, aprobado y financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), lleva el nombre de “Caracterización estática y dinámica de yacimientos no convencionales mediante simulación numérica” y trabajará en torno al modelado geológico y geofísico de la roca generadora de hidrocarburos, la modelización del proceso de fracturación hidráulica en reservorios no convencionales y la propagación de ondas sísmicas y electromagnéticas considerando las características de los suelos.





INGENIERÍA
EN EL CUERPO

.ing | 08 | 09



Cerebros, corazones y algoritmos matemáticos

Un grupo de investigadores de la FIUBA se encuentra trabajando en modelos matemáticos relacionados con patologías cardíacas y epilepsia, intentando contribuir al diagnóstico y tratamiento de estas afecciones.



La Lic. y Dra. en Ciencias Matemáticas María Inés Troparevsky es la directora del Grupo De Problemas Inversos: Teoría y Aplicaciones de la Facultad de Ingeniería de la UBA. Desde octubre de 2015, forma parte del grupo de Investigación Internacional “Modelling and Simulation in Multidisciplinary Engeneering”, un programa de cooperación internacional en el que participan el MINCyT, CONICET y la CNRS (Francia).

La Dra. Troparevsky, que se incorporó a la FIUBA como docente en 1996, cuenta que las principales líneas de investigación del grupo que dirige se vinculan con el análisis y la clasificación de señales de electroencefalograma (EEG), la automatización de la detección de eventos intercríticos aislados, paroxismos, predicción y comienzo de crisis y su propagación entre canales. Los estudios de señales reales de EEG se realizaron en pacientes epilépticos del Centro Municipal de Epilepsia del Hospital Ramos Mejía.

No solo trabajan con señales de EEG. En paralelo, trabajan en el análisis y clasificación de señales de electrocardiograma (ECG). En este caso, uno de los objetivos es caracterizar el síncope vasovagal, más conocido como “desmayo”. Explica la Dra. Troparevsky que los estudios realizados por su grupo se llevan a cabo a partir de señales hemodinámicas. “Nuestra meta es predecir la inminencia de un síncope e implementar el cálculo de un conjunto de características robustas basados en intervalos temporales y en diferentes escalas de la transformada *wavelet*”. Esta última línea de investigación se llevó a cabo en colaboración con investigadores de la Universidad de Zaragoza y del Hospital Fernández. Y agrega: “Respecto del análisis de modelos de actividad eléctrica cerebral dentro del marco de desarrollo de técnicas no invasivas para la exploración de funciones cerebrales, el problema directo del EEG consiste en la determinación de la distribución del potencial eléctrico en la cabeza, para una fuente intracerebral dada. Por otra parte, el problema inverso del EEG consiste en la localización del lugar en la masa encefálica, donde una crisis epiléptica se inició. Nos referimos a epilepsias de un tipo particular en las que existe una zona epileptógena. Este problema es el que interesa resolver. A partir de la información de sensibilidad del modelo respecto de sus parámetros desarrollamos un diseño óptimo para el experimento de recolección de la señal de EEG que nos permite hallar una solución aproximada confiable del problema inverso de EEG y determinar una distribución óptima de electrodos para la estimación de los parámetros

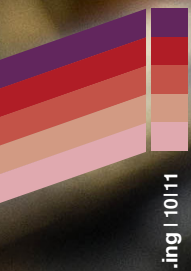
“Estos desarrollos podrían contribuir con el neurofisiólogo y con el médico cardiólogo en el análisis del trazado del EEG y ECG y en la detección de la zona epileptógena”.

que permiten identificar la localización y magnitud de la fuente intracerebral responsable de la crisis”.

Esta fue una investigación conjunta con los Dres. Nicolás Saintier (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA), Diana Rubio (Universidad Nacional de San Martín) y H. T. Banks, director del CRSC (Center for Research in Scientific Compuatation) de la Universidad Nacional de Carolina del Norte, con quienes desarrollaron el diseño óptimo de experimentos para soluciones confiables de Problemas Inversos.

“Estos desarrollos podrían contribuir con el neurofisiólogo y con el médico cardiólogo en el análisis del trazado del EEG y ECG, y en la detección de la zona epileptógena (posible cirugía en el caso de epilepsias focales). También están orientados a contribuir en el problema no resuelto de predicción automática de crisis epilépticas que, de lograrse, mejoraría notoriamente la calidad de vida de pacientes epilépticos”, se entusiasma la Dra. Troparevsky. “En este sentido, creo que los desarrollos que provengan de la matemática, la física y la ingeniería pueden contribuir enormemente al entendimiento y tratamiento de diferentes afecciones. En nuestro caso, la epilepsia y las afecciones cardíacas, pero existen muchos desarrollos referidos al Parkinson, la genética, etc., que podrían colaborar con el profesional médico en el diagnóstico y tratamiento de estas enfermedades y también contribuir para encontrar algunas respuestas, o al menos distintos paliativos”, señala.

La Dra. Troparevsky está acompañada por un equipo integrado por el Dr. Ing. Ricardo Oscar Sirne, la Mg. Lic. Silvia V. Gigola, el Dr. Ing. Juan Carlos Perfetto y el Dr. Ing. Mariano Llamado Soria. ■



INGENIERÍA
EN EL CUERPO

.ing | 1011



Ingeniería en marcha

A través de un sistema con sensores, investigadores del Instituto de Ing. Biomédica de la FIUBA diseñaron un dispositivo que ayuda a personas que sufrieron un accidente cerebrovascular a recuperar la motricidad.



Alrededor de 130 mil argentinos al año sufren un accidente cerebrovascular (ACV), y 1 de cada 3 casos a nivel mundial, derivan en alguna discapacidad,

que puede ser motora, sensorial o cognitiva, según el área del cerebro dañada. La rehabilitación posterior al ataque cerebral involucra médicos, enfermeras, terapeutas, profesionales de la salud mental, y ahora también, investigadores de la bioingeniería. Así lo demuestran los ingenieros Jorge Mazzeo y Guillermo Campiglio, encargados de dirigir el Grupo de Rehabilitación Sensoriomotora del Instituto de Biomédica de la Facultad de Ingeniería de la UBA e impulsores de un dispositivo que ayuda a los pacientes con esta patología a volver a caminar.

“Nuestra línea de trabajo pone énfasis en las dificultades de bipedestación y de la marcha como consecuencia de trastornos neurológicos, tal es el caso de los accidentes cerebrovasculares y del síndrome de Parkinson, o bien de aquellas alteraciones resultantes del deterioro que naturalmente ocurre con el paso de los años”, aclaran los investigadores casi completando la respuesta entre los dos. Precisamente, fue a partir de este propósito que, hace algunos años, profesionales de la salud del Hospital de Rehabilitación Manuel Rocca de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires se acercaron al laboratorio ubicado en el cuarto piso de la sede de Av. Paseo Colón 850 para plantearles un problema: necesitaban un dispositivo que controlase si los pacientes apoyaban o no el talón al momento de intentar caminar, ya que su calzado dificultaba la visión y no permitía una evaluación fidedigna del proceso de rehabilitación.

La respuesta a dicha dificultad se basó en el diseño de un sensor que al colocarse dentro del zapato indicaba al médico si el paciente descargaba

su peso sobre el talón. Sin embargo, después de implementar esa solución, nació un interrogante entre los integrantes del grupo: ¿qué sucedería si el paciente recibiera la información inicialmente reservada para el médico? ¿Cómo ayudaría a la rehabilitación que los pacientes adviertan el apoyo del talón y grado de fuerza ejercido en cada contacto?

“En un contexto general, esa idea de recibir un estímulo (auditivo, visual o táctil) de relación directa con algún parámetro del cuerpo recibe el nombre de *biofeedback*. Es un método que no solía usarse para la rehabilitación de pacientes hemipléjicos y nosotros lo que hicimos fue aplicarlo en esta área a partir de la incorporación de un sonido”, le explica a .ing el Dr. Mazzeo.

El funcionamiento del dispositivo consiste en la aplicación de sensores bajo la planta del pie y auriculares que permiten al paciente percibir un sonido que cambia dinámicamente su frecuencia en función de la presión pisada. Cuanto más fuerte es la pisada, más agudo es el sonido. Según destacan los investigadores, la premisa de este desarrollo se apoya en el movimiento natural de la marcha. Cuando los seres humanos caminan, no lo hacen simplemente porque son capaces de controlar los músculos, sino también porque existe un retorno sensorial que informa cómo se está llevando a cabo la acción. En el caso de los pacientes a rehabilitar, el retorno sensorial es alterado por el ACV, de ahí que el dispositivo viene a compensar el déficit sensorial a través de un lazo externo y artificial.

“Lo que le sucede a los pacientes es similar a cuando uno se levanta con un pie dormido y quiere apoyar el peso de su cuerpo sobre ese pie. No hay sensibilidad. No se logra una distribución equilibrada del peso. Y entonces te caés –ilustra Campiglio–. Con la intervención del dispositivo, lo que aportamos es una referencia sensorial distinta. El sonido permite guiar al paciente en la realización de su movimiento”.

En efecto, el dispositivo supone un sistema de aprendizaje complementario a la rehabilitación actual cuyo principal objetivo es demostrar que a través de este método los pacientes en amesetamiento pueden mejorar su rehabilitación en un nivel mayor que con la terapia clásica. Como indica el Dr. Mazzeo, esta especialidad de la ingeniería admite su empleo en la rehabilitación de pacientes con distintos tipos de discapacidad. “Hemos desarrollado un dispositivo dedicado a casos de

enfermedad de Parkinson que permite medir el movimiento de mano y dedos. A través de su utilización, es posible obtener registros en computadora del temblor característico de la enfermedad y de otros movimientos típicamente evaluados durante la consulta médica. De esta manera, la descripción de estos parámetros aporta información objetiva que sirve de complemento para la evaluación cualitativa realizada por el médico”, describe.

El Grupo de Rehabilitación Sensoriomotora del Instituto de Ing. Ingeniería Biomédica de la FIUBA lleva adelante una serie de procedimientos dedicados a la búsqueda de soluciones tecnológicas para su aplicación en trastornos de motricidad. Esta clase de esfuerzos de significativo impacto en el campo científico-tecnológico tiene su correlato en la construcción de lazos interdisciplinarios entre la academia y diversos ámbitos de la sociedad, como el Laboratorio de Fisiología de la Acción de la Facultad de Medicina de la UBA, el Servicio de Neurología del Hospital Fernández de la Ciudad de Buenos Aires, el INDELO –con sede en el Hospital Policlínico Bancario– y el reciente Laboratorio de Biomecánica e Ingeniería para la Salud de la Universidad Católica Argentina.

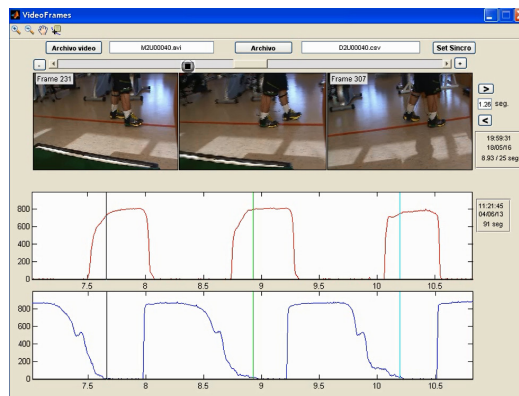
Además, en sintonía con el trabajo colaborativo, el grupo codirigido por Mazzeo y Campiglio contribuye también con la formación de nuevos profesionales de la ingeniería: “Del equipo de trabajo que integra el área participan estudiantes de la FIUBA que se encuentran realizando sus tesis de grado o una beca, así como alumnos de otras universidades”, destacan los investigadores. ■



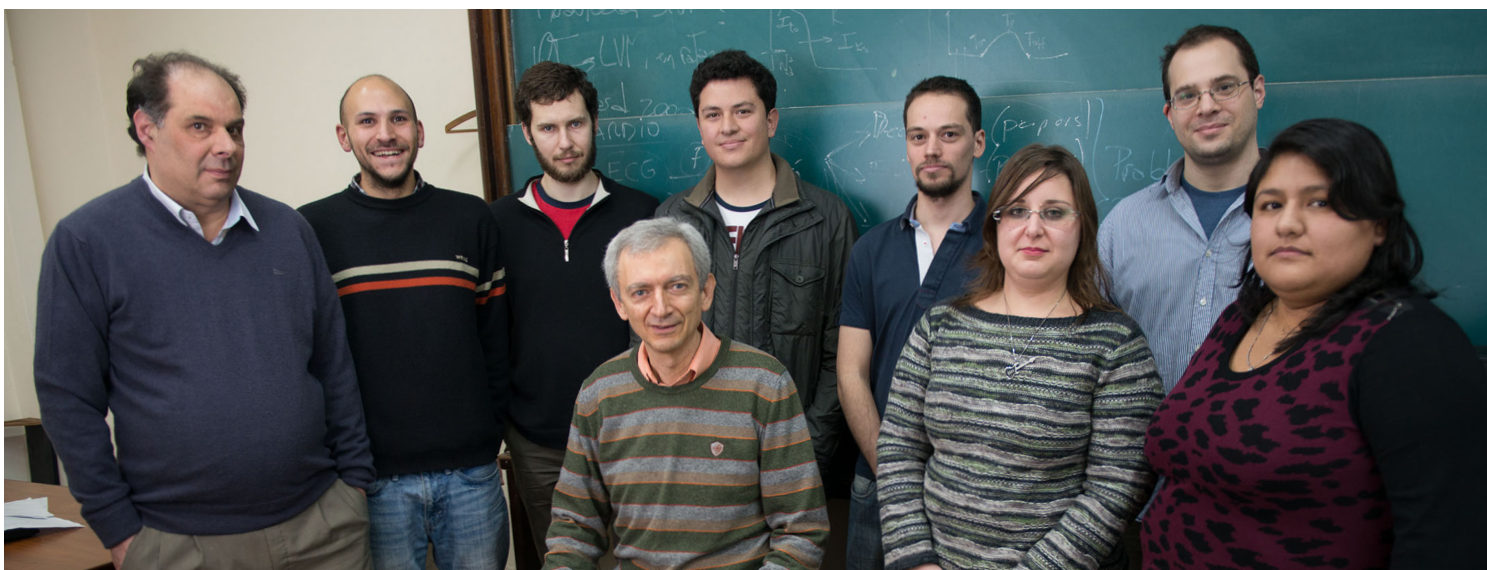
La realización de ensayos con individuos sin trastornos de locomoción es necesaria no solo para probar el recurso tecnológico, sino también para determinar parámetros de referencia contra los cuales contrastar los resultados en marcha patológica.



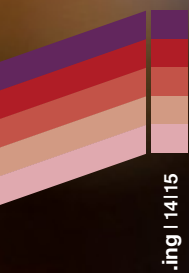
El sistema desarrollado por el IIBM permite cuantificar la dinámica de pisada con el fin de complementar el seguimiento de la enfermedad mediante parámetros objetivos. Además, y simultáneamente con el registro, el paciente recibe un estímulo tendiente a mejorar su *performance* motora.



Herramientas de *software* que forman parte del sistema y que facilitan el análisis de la presión de pisada bajo ambos pies en función del tiempo, pudiendo ser visualizada en sincronismo con registros en imágenes de video.



De izquierda a derecha: Guillermo Campiglio, Fernando Kabas, Maxim Dorogov, Jorge Mazzeo, Álvaro Bocanegra, Daniel Trinchero, Cynthia Fernández, Fernando Wagner y Sherly Porrás Carhuamaca.



INGENIERÍA
EN EL CUERPO

Entrevista al Dr. Andrés Ozols, que desde el **Grupo de Biomateriales para Prótesis de la FIUBA**, y a partir de distintos desarrollos científicos y tecnológicos, demuestra los puntos en común entre la ingeniería y la medicina.

Tejidos e implantes a medida



La regeneración de tejidos es una de las metas fundamentales de la ingeniería de materiales y substitutos de tejidos biológicos. Es, también, el eje de las investigaciones que se desarrollan desde el Grupo de Biomateriales para Prótesis, perteneciente al Instituto de Ingeniería Biomédica de la FIUBA, que cuenta con la dirección del Dr. Andrés Ozols, investigador y docente de esta Casa de Estudios.

Desde hace años, el Dr. Ozols dedica su formación y experiencia a la investigación y desarrollo de biomateriales e implantes quirúrgicos. Además, realiza trabajos de consultoría para el desarrollo y la validación de dispositivos médicos de acuerdo a los requerimientos de las industrias productoras; siguiendo las regulaciones del ANMAT (Administración Nacional de Medicamentos y Tecnología Médica), las cuales permiten garantizar la seguridad y eficacia del dispositivo médico. También, es evaluador de proyectos nacionales y extranjeros y de publicaciones sobre biomateriales, y disertante invitado de congresos de medicina regenerativa y biomateriales en distintas partes del mundo.

“Actualmente contamos con un material de vanguardia denominado *biocomposites* (BCO), el cual ha mostrado ser altamente eficaz en la solución de patologías o afecciones degenerativas y

en pacientes que han sufrido traumatismos de índole diversa”, introduce Ozols.

Las técnicas de prototipado rápido de aplicación industrial es otra de las líneas de trabajo, cuyo objetivo es el de desarrollar prototipos de diversos productos industriales que tienen como base la estereolitografía, impresión 3D por sinterizado láser, deposición de resinas foto curables, partículas dispersas en una resina fundida y curada térmicamente, etc. El Dr. Ozols cuenta que “los prototipos, conjuntamente con las imágenes de diagnóstico médico (radiografía, resonancia magnética o tomografía axial computada) y la información y asesoramiento del cirujano, permiten establecer las especificaciones de un implante para un paciente específico, para el cual no existe un dispositivo médico estándar en el mercado. Lo dicho muestra que es posible, en situaciones muy especiales, proveer al paciente de un implante efectuado a su medida. Las piezas óseas (totales o parciales), diseñadas por prototipado rápido, se construyen a partir de una malla de diseño asistido por computadora (CAD), que concatena los requerimientos médicos y los criterios ingenieriles, y que puede ser sometido a un ensayo de simulación numérica, si corresponde a situaciones clínicas frecuentes”.

El material obtenido puede ser empleado direc-



Microesferas biocerámicas.

tamente como implante, dependiendo del material empleado, o puede ser utilizado simplemente como modelo para realizar una copia en un elastómero o material cerámico (negativo del implante), que es utilizado como recipiente para el colado de barbotinas (que son fluidos viscosos formulados con dispersiones de partículas poliméricas, cerámicas, metálicas, etc.). La pieza modelada es curada *in situ* por medio de un proceso químico o térmico a baja temperatura. Este procedimiento se basa en el *gelcasting*, nacido de la industria cerámica, que produce un hidrogel con las partículas dispersas. Por otro lado, la pieza cruda extraída del molde es secada o sometida a un tratamiento térmico (sintetizada), en el caso de materiales cerámicos y metálicos, a 1000-1300 °C.

Ozols aclara que “son múltiples los ejemplos que podemos mencionar de empresas productoras de dispositivos médicos, desarrollados bajo estricta prescripción de un cirujano responsable y con habilitación por parte del ANMAT. Entre los dispositivos solicitados bajo esta modalidad se encuentran las prótesis temporarias para articulaciones o miembros a fin de restablecer la funcionalidad y ejercer una acción terapéutica contra una infección; cranioplastías para la restauración de fracturas craneales; rellenos bioce-rámicos y de BCO para la regeneración ósea en diversas formas (granos, piezas de geometrías simples), para resolver defectos o osteotomías requeridas para el cáncer óseo; separadores intervertebrales para artrosis de columna; diseño de implantes metálicos (a medida) no existentes en el mercado; revestimientos y tratamientos superficiales e implantes para acción terapéutica y para favorecer la regeneración de tejido, entre otros desarrollos”.

En paralelo a su incalculable impacto en la calidad de vida de los pacientes, este tipo de desarrollos también genera un impacto en el entramado de empresas especializadas, sobre todo en PyMEs, que generan así un *know-how* propio. “Esto les permite competir en forma ventajosa con productos importados (los cuales son de alto costo y poco accesibles). Además, ofrece otras alternativas viables para las obras sociales públicas y privadas. Por último, cabe señalar que el margen de ganancia, tanto en los productos de regeneración como en los implantes a medida, es muy



Polvo y granos de biocerámico e hidroxiapatita.



Prótesis de Ti-6AL-4V forjados para validación.

Los
prototipos,
las **imágenes**
de diagnóstico médico,

conjuntamente con

la **información** y el
asesoramiento
del cirujano,

permiten establecer

las **especificaciones**
de un **implante** para un
determinado **paciente.**

significativo y dado que este conocimiento es de fácil transferencia a PyMEs, permitiría rápidamente sustituir las importaciones de estos dispositivos. Solo es una cuestión de decisión política”, sugiere el responsable del Grupo de Bioprótesis de la FIUBA, que forma parte de una serie de instituciones tales como el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), de la ISO (Organización de Estandarización Internacional), de la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología (AAOT), Academia de Ciencias de Letonia, de la *Journal of Materials Science and Applied Chemistry* y de la

Comisión de Seguimiento de Ciencias Básicas y Biológicas, entre otras.

Actualmente, el grupo de trabajo cuenta con un tesista de doctorado, el cirujano maxilo-facial Dr. Cristian Alexis Martínez y la Dra. Virginia Fernández, docente del departamento de Física, y en etapa de formación en el área de biomateriales. “Si bien reducido –aclara Ozols–, se trata de un equipo de trabajo que conoce muy bien las Buenas Prácticas de Manufactura exigidas por las regulaciones del ANMAT, que emulan las de la Comunidad Europea y la FDA (Food and Drug Administration) de EE. UU. La experiencia se ha adquirido por medio del asesoramiento *in situ* de empresas productoras de implantes y no de un conocimiento restringido al ámbito académico”.

“Personalmente creo que la mayor parte de los laboratorios de la FIUBA están muy desvinculados y existe una falta de interés desde estos sectores de participar en trabajos de cooperación, salvo por algunas honrosas excepciones”, responde cuando se le pregunta sobre su opinión acerca del entramado industria-gobierno-universidad. Y agrega: “Me da la impresión de que se apuesta en forma desmedida a la llamada ciencia base y no a la tecnología aplicada. Considero que es necesario un cambio de paradigma dentro de la mayoría de las áreas que componen el ámbito de la comunidad académica y científica para que se animen a resolver los problemas concretos que urgen a la industria local”. ■



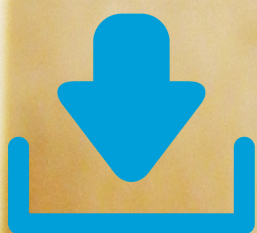
Dr. Andrés Ozols, actual director del Grupo de Biomateriales para Prótesis (Instituto de Ingeniería Biomédica de la FIUBA). A lo largo de su carrera ha recibido, de manera individual y en coautoría, numerosos reconocimientos, como el premio Prof. Dr. Carlos Ottolenghi, el Premio a la Calidad Académica de la Universidad de Buenos Aires o el Premio Fundación René Barón de la Academia Nacional de Odontología, entre otros.

BCO multifacético

Los BCO (*biocomposites*) tienen la interesante propiedad de “imitar” lo que en condiciones óptimas produce un organismo sano. Esto se debe a que los BCO son materiales multifásicos que se han desarrollado combinando fases orgánicas e inorgánicas, por lo general, de origen biogénico; es decir, obtenidas a partir de recursos naturales renovables y de bajo costo relativo. La fase orgánica de los BCO puede estar constituida por una matriz biológica de origen embrionaria que contiene las moléculas esenciales para la función regenerativa de tejidos. La fase orgánica es muy rica en proteínas y esto es deseable cuando se requiere utilizar BCO en los tejidos del organismo. La fase inorgánica de los BCO está integrada por partículas inorgánicas de naturaleza cerámica (sólido cristalino) o vítrea (amorfa); estas partículas se encuentran dispersas en la matriz biológica. Esta última tiene como función promover la osteoconducción. Además, sirven como andamio para el anclaje, la migración y la reproducción de células óseas. Dicho de otro modo, promueven la regeneración de forma activa. Todo esto hace de los *biocomposites* uno de los materiales capaces de brindar las condiciones óptimas para reparar la estructura ósea y los tejidos blandos. Por esta razón, se utiliza eficientemente en pacientes que han sufrido traumatismos, patologías o afecciones degenerativas.

NUEVO SERVICIO

LA FIUBA en tu teléfono





INGENIERÍA EN EL CUERPO



Aportes del control automático a la pediatría

Entrevista al **Dr. Aníbal Zanini**, uno de los referentes de la FIUBA, que participa en el desarrollo de un sistema de asistencia circulatoria mecánica, pensado para casos de déficit cardíaco en niños.

En septiembre de 2015, distintos medios de comunicación dieron cuenta de que la ciencia argentina había generado un nuevo corazón artificial. Esta vez, el avance científico se relacionaba con la pediatría, lo cual amplificaba el impacto del desarrollo, consistente en la instalación de un sistema de asistencia circulatoria mecánica –más conocido como “corazón artificial”– que hace las veces de puente en el marco de un trasplante y permite a los pacientes llegar con parámetros fisiológicos estables a la operación, única opción para la Insuficiencia Cardíaca Terminal Infantil (ICTI), una enfermedad que tiene como origen las cardiopatías congénitas.

“Este desarrollo –que desde la FIUBA tiene como ‘alma pater’ de esta tecnología al Ing. Sebastián Berra, actual docente en el departamento de Electrónica– generó una gran repercusión por varios aspectos: por un lado, lo académico, que nos permitió obtener financiación a través de un Proyecto de Desarrollo Tecnológico y Social (PDTs) y disparar una tesis de grado sobre el tema; luego, en lo que hace a la transferencia, porque se creó una relación muy sólida con el Hospital Garrahan y el INTA-Castelar”, detalla el Dr. Ing. Electricista Aníbal Zanini, profesor titular, director del Instituto de Tecnologías del Hidrógeno y Energías Sostenibles, dependiente de la UBA y el CONICET, y coordinador del Grupo de Control Automático de FIUBA, ámbito desde el que se le dio impulso a la investigación.

Dice Wikipedia que “la regulación automática, también llamada teoría de control, estudia el comportamiento de los sistemas dinámicos, tratándolos como cajas o bloques con una entrada y una salida”. El Dr. Zanini agrega que, además,

guarda la característica de ser un conocimiento multidisciplinario, holístico y, como tal, se desarrolla en diversos espacios de la FIUBA, básicamente en los departamentos de Electrónica, Ingeniería Química y Mecánica. “A la fecha, las principales líneas de investigación de este grupo se centran en el control tanto de procesos industriales como de equipamiento médico”, explica.

La principal característica de la persona que se dedica al control automático es la de no focalizarse en una disciplina ni buscar la respuesta dentro una sola tecnología. “La mejor solución puede ser un mejor diseño mecánico, un circuito electrónico, un algoritmo en un programa, etc. Debemos estar abiertos a diferentes alternativas. Hay un dicho que dice que ‘si la única herramienta que conozco es el martillo, voy a intentar ver todos los problemas como si fuesen clavos’”, grafica.

Actualmente, con tres tesis doctorales, tres de maestría y seis tesis de grado, el equipamiento del Grupo de Control de la FIUBA cuenta con plantas pilotos que permiten sacar conclusiones que luego se pueden “escalar” a casos reales. Actuadores, válvulas, motores, bombas, computadoras (“muchas –dice Zanini– que son el cerebro de nuestros desarrollos”); sensores de presión, de temperatura, de caudal, y un caudalímetro, recién importado con fondos del PDTs. “Vale señalar que el Grupo de Control Automático de FIUBA no tiene una existencia formal, como tal, pero sí podemos reconocer sus inicios en los años 70 y a uno de sus fundadores, el Ing. Carlos Godfrid, a quien muchos de nosotros le debemos nuestra vocación por estos temas”, cuenta Zanini.



“El prototipo desarrollado fue evaluado en un modelo biológico, de ahí la participación del INTA-Castelar, pero falta el diseño del modelo para uso humano, que presenta otros desafíos. La FIUBA participa en esta instancia del desarrollo, la posterior fabricación y comercialización del asistente ventricular lo debería hacer una empresa que podría ser incubada desde la facultad”, propone Zanini, que a su vez resalta las capacidades técnicas de cada uno de los miembros del proyecto: “En eso podemos estar orgullosos, de que la formación de nuestros ingenieros, médicos y otros profesionales, no tiene que envidiarle nada a la equivalente de países desarrollados. El principal cuello de botella es la cantidad de horas-hombre que podemos dedicar al proyecto. En FIUBA, salvo mi caso, el resto de los participantes es de dedicación parcial y esto sí es un problema. Para ser eficientes en este tipo de desarrollos tecnológicos debemos ser más y con mayor dedicación. Pero desde ya que podemos afirmar que estamos en condiciones de brindar respuesta inmediata a los requerimientos industriales dentro del campo científico-tecnológico”. Según Zanini, los dos puntos por fortalecer, para que la relación universidad-industria sea fluida, son: contar con investigadores con mayor dedicación en la universidad, de modo que se puedan dedicar a este tipo de proyectos, y vencer los prejuicios que existen desde la industria hacia la universidad.

Subsanar el problema de falta de donantes de corazón en la edad pediátrica fue el desafío que convocó a los profesionales de la medicina y la ingeniería. En la búsqueda de un sistema de soporte circulatorio a largo plazo, con menor número de complicaciones y que genere una “calidad de vida” superior para los niños con insuficiencia cardíaca terminal que esperan un trasplante cardíaco, en el año 2006 se inició una investigación clínica que consistió en utilizar un novedoso sistema de asistencia circulatoria, implantando un corazón artificial en cada paciente que presentaba gran deterioro hemodinámico y que sin respuesta a ninguno de los tratamientos médicos habituales tenían una escasa expectativa de sobrevivencia.

A partir de ese contexto, y gestionado por un equipo de trabajo interdisciplinario que incluye al Servicio de Trasplante Cardíaco del Hospital Garrahan, al Grupo de Fisiología Animal del Instituto de Patobiología del INTA (Castelar), a la Fundación Pediátrica Argentina (FuPeA) y, por supuesto, a la Facultad de Ingeniería de la UBA, el proyecto fue oportunamente reconocido con el primer premio de la categoría “Equipamiento

Médico” del prestigioso concurso INNOVAR 2015, que otorga el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. En paralelo, ya se iniciaron los trámites correspondientes para su patentamiento.

En el marco de la temática central que aborda este segundo número de *.ing*, Zanini profundiza sobre la repercusión de este tipo de desarrollos científicos en lo que hace a la sustitución de importaciones desde un punto de vista que podría catalogarse como tajante y alarmante al mismo tiempo. No sólo por su impacto económico sino también por su vinculación con la expectativa de vida de los pacientes. “El principal objetivo que impulsó este trabajo fue la necesidad de reemplazar los asistentes ventriculares que se utilizan hoy en Argentina, que tienen origen extranjero y cuestan fortunas. De hecho, muchas veces se descarta esta forma de terapia por su costo”. Así de vital puede resultar la ingeniería. ■



De izquierda a derecha: Héran Tacca (FIUBA), Alfredo Irusta (Especialista en Biomateriales), Sebastián Berra (FIUBA), Juan Nazarian (FIUBA), Aníbal Zanini (FIUBA), Ignacio Berra (Cirujano Cardiovascular Infantil Garrahan).

“Esta intervención de la ingeniería en el cuerpo humano, hoy en día es más espectacular, pero no deja de ser la continuidad de una línea que lleva siglos de vinculación entre medicina e ingeniería”.



ZOOM

BANDAS DE DESLIZAMIENTO:

NUMEROSAS LÍNEAS PARALELAS QUE EVIDENCIAN EL PROCESO DE DEFORMACIÓN PLÁSTICA.



Arqueometalurgia

Resto de vaina de fusil de retrocarga

Remington o Martin-Henry (1874).

CORROSIÓN INTERGRANULAR: FORMA LOCALIZADA DE CORROSIÓN QUE OCURRE POR DISOLUCIÓN PREFERENCIAL DE LA ZONA CORRESPONDIENTE A LOS LÍMITES DE GRANO, DONDE SE OBSERVAN PRODUCTOS DE CORROSIÓN COMO RESULTADOS DE TAL AGRESIÓN.

MACLA DE RECOCIDO: IMPERFECCIÓN, QUE SE OBSERVA COMO LÍNEAS RECTAS, DENTRO DE UN GRANO QUE FUE TRATADO TÉRMICAMENTE. EN LA IMAGEN SE OBSERVAN CURVADAS POR EFECTOS DE LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA.

Desde los inicios de la década de 1870, empezaron a llegar a nuestro país los primeros fusiles Remington, provenientes de diversos países, principalmente de Estados Unidos y Bélgica.

Uno de sus primeros usos locales fue en la Batalla de “La Verde”, ubicada en la zona del partido de 25 de Mayo, en la provincia de Buenos Aires, en el marco de la denominada revolución mitrista de 1874.

Las tareas de investigación arqueológicas llevadas a cabo en dicha zona, durante los años 2008 y 2011, proveyeron numerosa cantidad de artefactos relacionados con aquella contienda, tales como fragmentos de vainas atribuibles a fusiles Remington, y que posteriormente comenzaron a ser analizados por el Grupo de Arqueometalurgia, dirigido por el Ing. Horacio De Rosa desde la Facultad de Ingeniería de la UBA.

Sensores de temperatura distribuidos usando secuencias pseudoaleatorias de pulsos láser

Guillermo Daniel Brinatti Vázquez,
Oscar Eduardo Martínez y Darío Kunik

Brinatti Vázquez y Martínez: Laboratorio de Fotónica de la Facultad de Ingeniería de la UBA y Consejo Nacional de Investigaciones y Técnicas.

Kunik: Laboratorio de Sensores Fotónicos, YPF-Tecnología y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

Introducción

En los últimos veinte años se ha producido un gran avance en el desarrollo de sensores distribuidos basados en fibra óptica [1]. Estos permiten reemplazar a un conjunto de sensores puntuales utilizados para medir temperatura y estrés por una única fibra óptica que otorga la misma información pero de manera continua con la posición. Este concepto es útil en una gran variedad de aplicaciones. Así, mediciones distribuidas de estrés sirven para detectar grietas en el concreto antes de que sean visibles y pueda causar daños estructurales en, por ejemplo, un edificio o un puente [2]. De la misma forma, mediciones distribuidas de temperatura pueden detectar incendios en un túnel o desperfectos en un cable de alta tensión [1] [2]. Para el caso de la industria petrolera este tipo de dispositivos permite caracterizar temperatura y estrés en función de la profundidad en un pozo y, a partir de estos datos, tomar decisiones que permitan mejorar la producción o evitar un accidente [3].

Los principales mecanismos explotados para la realización de estos dispositivos son los procesos de dispersión Raman y Brillouin. Así, el esquema dominante para la medición distribuida (utilizando la fibra como sensor) consta de un láser pulsado que introduce un pulso corto de luz en la fibra que actúa como haz de bombeo, como se esquematiza en la figura 1. De esta forma, se colecta la luz que se produce en cada punto de la fibra por la interacción entre ésta y el haz de bombeo y que es retrodispersada, esto es, se acopla a un modo guiado de propagación

opuesta a la luz proveniente del láser. Como la cantidad de luz Raman producida (o la magnitud del corrimiento en longitud de onda para el caso Brillouin) en cada sitio de la fibra depende de su temperatura, se puede obtener el perfil deseado. Si el dispositivo utiliza la dispersión Raman (lo más usual) este proceso es conocido como reflectometría Raman resuelta en el tiempo o Raman OTDR (del inglés: *Optical Time Domain Reflectometry*). Así, como se explicará con más detalle en la sección II, se puede obtener el perfil de temperaturas a partir de medir la amplitud de la señal dispersada en función del tiempo, asociando cada instante de medición con un punto en particular del sensor. La resolución espacial vendrá dada por el ancho del pulso utilizado por lo que, para implementar este tipo de esquema, es necesario utilizar un láser de gran potencia y pulsos cortos (10 ns para resolver un metro de fibra) y, en consecuencia, detectores y digitalizadores rápidos.

La obtención de perfiles de temperatura a través del método explicado implica realizar una serie de correcciones a la señal de manera de eliminar de esta las pérdidas de la fibra, ya sean las correspondientes a la atenuación, como las producidas al colocar la fibra en el pozo [4]. Luego de esto será necesario un proceso de calibración que relacione la señal medida con la temperatura en cada punto de la fibra. Se pueden, por lo tanto, realizar variaciones al dispositivo con el objetivo de facilitar la calibración (configuración simple, simple duplicada, doble, etc.) [5].

Para las aplicaciones referentes al petróleo, las mediciones distribuidas de temperatura tienen un rol importante en los procesos de recuperación secundaria y terciaria. En este tipo de explotaciones se utilizan pozos auxiliares que se encargan de inyectar en la tierra agua o polímeros de una viscosidad mayor, que cumplen la función de mantener la presión y de desplazar los hidrocarburos hacia el pozo productor. Técnicas similares son realizadas en pozos de petróleo no convencionales.

En estas aplicaciones, es importante conocer el caudal inyectado en cada punto del pozo inyector, de manera de identificar obstrucciones o roturas en este, y poder así mejorar la eficiencia de extracción y prolongar la vida útil del pozo. Es aquí que las mediciones de temperatura pueden ser útiles puesto que las variaciones en el caudal están generalmente asociadas a las variaciones de temperatura locales en el fluido inyectado [6] [7]. Este tipo de mediciones son un estándar en la industria, donde el método de reflectometría Raman resuelta en el tiempo es el más utilizado, alcanzando resoluciones típicas de un metro en sensores de varios kilómetros de longitud y sensibilidad en la temperatura de alrededor de 1 °C [3].

Numerosas pruebas de campo utilizando el método Raman OTDR muestran su utilidad para extraer información sobre el funcionamiento de los pozos [8] [9]. También existen métodos más sofisticados que buscan medir directamente el perfil de inyección aprovechando las mediciones distribuidas de temperatura y que buscan reemplazar a los menos prácticos sistemas que utilizan trazadores radioactivos. Ejemplos de estos son el método de pulso térmico, de restauración térmica o de inyección estabilizada [10]. Adicionalmente, la medición distribuida de temperatura mostró ser útil para la caracterización del flujo en pozos productores de gas [11].

Como se mencionó, el principal problema de estos dispositivos es que requieren de un láser que genere pulsos cortos y de gran potencia. Una alternativa para remediar esto es el método resuelto en frecuencia [12] (OFDR, del inglés *Optical Frequency Domain Reflectometry*). En el mismo, se reemplaza el láser pulsado por uno modulado (ya sea a partir de su corriente de alimentación o por medio de un modulador electro-óptico) y se mide amplitud y fase de la señal Raman en función de la frecuencia de modulación utilizando un esquema de detección lock-in. Esto tiene la ventaja de que se puede utilizar un láser de

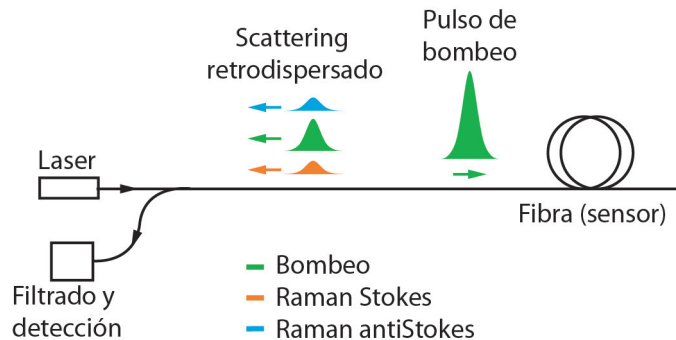


Fig. 1: Esquema del funcionamiento de un dispositivo comercial para la medición de temperatura distribuida a través del método Raman OTDR.

semiconductor, mucho más económico, durable y seguro que el utilizado en el esquema OTDR. Este tipo de esquema se probó útil a la hora de construir dispositivos para medición distribuida basados en Raman [13] y Brillouin [14], así como para detectar fallas en la fibra [15].

En estos esquemas basados en mediciones resueltas en frecuencias, la información espacial es recuperada luego de un barrido en frecuencia y computando la transformada de Fourier inversa de la señal adquirida para cada frecuencia en amplitud y fase. Cada punto requiere llenar la fibra completa con la señal modulada previamente a la medición. Esto implica esperar por cada frecuencia un tiempo de viaje de la luz en la fibra antes de medir. Como el número total de frecuencias a adquirir escala linealmente con el largo de la fibra e inversamente con la resolución espacial deseada, este método resulta muchas veces más lento que la reflectometría temporal.

Otros métodos para medición distribuida de temperatura han sido desarrollados con la idea de desparramar a lo largo de la fibra secuencias de pulsos con correlaciones tipo delta [16]. Estos métodos tienen la desventaja de exhibir lóbulos laterales en la correlación que introduce distorsiones en la deconvolución para la reconstrucción espacial. Para evitar estas distorsiones han sido propuestos esquemas que utilizan secuencias de Golay que permiten el uso de pares complementarios [16] [17] con lóbulos opuestos. Para esto es necesario dos mediciones separadas. También han sido propuestos códigos Simplex [18] [19], pero esta técnica requiere de una mayor cantidad de palabras en la codificación que aumenta el tiempo de medición.

En este trabajo proponemos el uso de Secuencias de Máxima Longitud (MLS) para las mediciones

de temperatura distribuida por correlación OTDR. Este tipo de mediciones son conocidas en acústica [20] [21], donde amplitudes altas dan lugar a no linealidades. El método fue propuesto [22] y descartado [16] en el contexto de OTDR para telecomunicaciones, debido a su comportamiento cíclico. Esto causaba que los detectores saturaran con la luz dispersada en los primeros metros de fibra inspeccionada, y con las reflexiones en los acoples. En aplicaciones a medición de temperatura, este no es un inconveniente ya que la medición es realizada en una longitud de onda distinta a la del láser de excitación (por el corrimiento de la señal Raman). Esto abre la posibilidad de medir llenando la fibra completa, maximizando la señal. Ideas similares con secuencias cíclicas han sido ensayadas para análisis resuelto en el tiempo de dispersión Brillouin (BOTDA, del inglés *Brillouin Optical Time Domain*) [23] y Raman [24], pero usando láseres de baja repetición y moduladores acusto-ópticos, por lo que la fibra no resultaba completamente llenada por la radiación todo el tiempo y no se maximizaba la ganancia en la relación señal-ruido. En nuestro desarrollo se utiliza un láser de semiconductor y para corregir distorsiones en la correlación debido a limitaciones en las respuestas de los dispositivos (detectores y emisores) se introdujo un algoritmo de deconvolución muy sencillo que solamente requiere de una única medición adicional. Nuestros resultados muestran una mejora en la relación señal-ruido que escala con la raíz cuadrada del número de pulsos en la fibra. Esto permite realizar mediciones más rápido a menor potencia pico de los láseres y por ende a menor costo.

II. Descripción del Método

Dado un sistema lineal dependiente del tiempo caracterizado por una función $g(t)$ y un forzante $x(t)$, se puede calcular la respuesta del sistema $y(t)$ como la convolución de estos dos elementos. Para una señal muestreada esto se escribe como:

$$y_n = (x * g)_n = \sum_{m=1}^L g_m x_{n-m}$$

(1)

donde el subíndice n se refiere a la n -ésima muestra temporal de cada función. De la ecuación (1) surge que si x es una delta, la función g puede ser medida directamente para extraer la información buscada sobre el sistema. Esta es la idea en que se basa la reflectometría Raman resuelta en el tiempo, que requiere de pulsos de bombeo muy cortos y de alta potencia. Una alternativa es forzar el sistema con una secuencia de pulsos y la

reconstrucción de g depende de las propiedades de correlación de la secuencia.

Definiendo la correlación cruzada entre las funciones x e y como:

$$\rho(y, x)_n = \frac{1}{L} \sum_{m=1}^L y_m x_{n-m}$$

(2)

que combinada con la ecuación (1) se obtiene:

$$\rho(y, x) = g * \rho(x, x)$$

(3)

donde $\rho(x, x)$ es la autocorrelación de x .

El problema de encontrar una función que aproxime a una delta en el tiempo se convierte en encontrar una función cuya autocorrelación aproxime a una delta. Esto nos llevaría a una mejora en la relación señal-ruido en mediciones en que la energía o potencia del pulso de bombeo es limitada o en casos en que es necesario evitar no linealidades en la respuesta del sistema.

En este trabajo se propone utilizar secuencias de máxima longitud (MLS) para mediciones de temperatura distribuida. Estas son secuencias binarias de valores ± 1 con la forma de un tren de pulsos distribuidos en el tiempo en forma pseudoaleatoria. Utilizando el teorema de Wiener-Khintchine puede ver que este tipo de secuencias poseen un espectro en frecuencias plano, volviéndolas adecuadas para medir respuestas impulsivas. La autocorrelación de estas secuencias toma el valor 1 para desplazamiento nulo y $-1/L$ para cualquier otro valor, donde L es el largo de la secuencia definida como $L=2N-1$, con N un número natural.

Puede observarse que el efecto de este término constante $-1/L$ es restar el valor medio de la señal, que puede ser medido por otros mecanismos. El proceso debe ser adaptado para el caso de pulsos de luz donde los estados de interés son 0 y 1 para el láser apagado o encendido respectivamente, lo que se logra sumando una componente continua a la señal. En este caso la respuesta impulsiva es recuperada en forma exacta haciendo una correlación cruzada entre la respuesta del sistema y la secuencia simétrica, proceso en que solamente se corrompe la componente continua de la señal.

Otra ventaja relevante de la secuencia elegida es su carácter cíclico, ya que una permutación cíclica de los elementos de una secuencia resulta en una nueva secuencia. En consecuencia, si el

elemento saliente del extremo final de la fibra es simultáneamente reinyectado en el inicio, la luz que se propaga en la fibra está cambiando el elemento de la base de secuencias en el que la señal Raman es proyectada. Toda la base es medida así en un único tránsito de la luz por la fibra, al igual que en el método de reflectometría Raman temporal. Asimismo se optimiza la relación señal-ruido ya que toda la fibra está llena de radiación. La promediación es también sencilla ya que la siguiente medición puede tomarse ni bien se completa la anterior, evitando tiempos muertos debido a tazas de repetición del láser fijas o a que se miden consecutivamente secuencias complementarias que requieren vaciar la fibra antes de inyectar nuevamente. La reconstrucción de la señal se obtiene finalmente haciendo la correlación cruzada entre la señal Raman promediada y la secuencia.

Con la definición de la correlación cruzada normalizada dada en la ecuación (2) el nivel de señal luego de la reconstrucción es equivalente al obtenido con el esquema de un único pulso. La mejora en la relación señal-ruido puede ser calculada propagando el ruido a lo largo del proceso de correlación. Como cada punto en la reconstrucción es calculado como un promedio de los puntos donde la fibra está iluminada, el ruido disminuye como la raíz cuadrada del número de pulsos en la secuencia. Como aproximadamente la mitad de la secuencia corresponde a láser encendido, asumiendo que el ruido es el mismo en ambas mediciones (MLS y Raman OTDR), la mejora en la relación señal-ruido a igual potencia pico será:

$$\frac{RSR_{MLS}}{RSR_{OTDR}} = \sqrt{L/2}$$

(4)

La ecuación (4) vale si la detección es hecha en el límite de ruido de oscuridad. Si el ruido depende apreciablemente de la señal medida (como es el caso de ruido de disparo o *shotnoise*) es necesario considerar el nivel de señal de cada método. Si se utiliza la misma potencia pico, la señal para MLS será mayor que para OTDR por un factor igual al número de pulsos en la fibra. Esto da una señal $L/2$ veces mayor. La mejora en la relación señal-ruido dependerá de las características del ruido. Para el sistema en estudio usamos como modelo del ruido:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_0^2 + \alpha P}$$

(5)

donde σ_0 es el ruido de oscuridad y αP es el término de ruido de disparo, donde P es la potencia pico del pulso y α es un factor de escala. Con esta suposición, la comparación entre las relaciones señal-ruido de los dos métodos resulta:

$$\frac{RSR_{MLS}}{RSR_{OTDR}} = \sqrt{L/2} \sqrt{\frac{\sigma_0^2 + \alpha P}{\sigma_0^2 + \alpha PL/2}}$$

(6)

Hay dos límites de interés en esta ecuación. En el límite de baja potencia, el ruido está determinado por el ruido de oscuridad y se recupera la expresión (4). En el límite de alta potencia, el ruido es dominado por la componente dependiendo de la potencia de la señal, y la razón entre las RSR da 1. Esto significa que para cualquier potencia pico la RSR del método MLS es superior.

Una medición adicional puede realizarse si la respuesta temporal de los detectores, el láser u otras componentes distorsionan la forma de la secuencia de pulsos, distorsión que pasa luego a la señal Raman medida. En este caso es necesario medir la respuesta impulsiva del experimento completo y deconvolucionar esto de la medición Raman. Para esto replicamos el procedimiento para llegar a la ecuación (3), pero considerando que el forzante x es la secuencia distorsionada. Si la correlación es realizada con la secuencia teórica x' , la correlación de esta última con la señal medida es la convolución de respuesta Raman y la correlación cruzada (en vez de la autocorrelación) entre la secuencia teórica y la secuencia distorsionada. Esto es:

$$\rho(y, x') = g * \rho(x, x') = g * D$$

(7)

donde hemos definido a la función D , que debe diferir ligeramente de una función delta de Dirac debido a la sistemática distorsión de la secuencia. El espectro en frecuencias de la función D debe ser plano, lo que lo hace adecuado para el algoritmo de deconvolución habitual que consiste en realizar la transformación de Fourier inversa de la razón entre los espectros de frecuencia de $\rho(x, x')$ y D . Esta función D puede ser medida muy fácilmente dejando llegar al detector una pequeña fracción de la luz del láser emitiendo la secuencia a usar.

III. Implementación experimental

En la Fig. 1 se muestra el esquema del experimento. Un generador de funciones alimenta un láser que emite secuencias de pulsos de 90 mW pico a 1064 nm de longitud de onda. La luz emitida es acoplada a una fibra óptica que actúa como sensor distribuido de temperatura. La luz Raman dispersada hacia atrás es colectada y filtrada por medio de dos filtros pasalargo (longitudes de onda de corte en 1050 nm y 1100 nm) con los que se separa las componentes Stokes y antiStokes de la luz dispersada que están centradas en 1115 nm y 1017 nm respectivamente. Una vez separadas, cada componente Raman es dirigida hacia sendos fotodiodos de avalancha. Un filtro notch adicional es utilizado para eliminar la luz residual a la longitud de onda del láser de bombeo. Las señales de los detectores son digitalizadas y procesadas en una PC. Una señal de sincronismo es también digitalizada. Este proceso es repetido para promediar las señales hasta que se llega a niveles de ruido aceptables.

Para la demostración se utilizó una secuencia de 511 elementos ($N=9$) compuesta de pulsos de 20 ns de duración, lo que permite una resolución espacial de 2 m. Para ello la frecuencia de muestreo debe ser de al menos 50MHz en el conversor analógico/digital y el correspondiente ancho de banda en los detectores. Para una mayor resolución espacial, el ancho de pulso debe ser ajustado tal como se hace con el método de pulso único y el período de la secuencia determinado por el largo de la fibra. Como el número total de pulsos está dado por $L=2^N-1$, el valor de N debe ser tal que L sea mayor que la razón entre el largo de la fibra y la resolución espacial buscada. Los puntos en exceso respecto de ese mínimo son utilizados para determinar la componente de continua de la señal ya que brindan información de una zona donde la señal debe ser nula. En nuestro caso, 511 puntos de 2 m da un largo máximo de fibra de 1,022 km y utilizando una fibra de 1 km de longitud se tienen 11 puntos en exceso de señal nula. Esto permite determinar el nivel de continua que se pierde en el proceso de deconvolución como aquel que hace que la señal en estos 11 puntos se anule.

A fin de medir la resolución en temperatura del método se sumergieron los últimos 30 m de fibra en un baño térmico controlado. Se realizaron las medicio-

nes entre 22 °C y 74 °C. Para compensar la distorsión debido a la respuesta temporal del láser y los detectores, se realizó una medición directa en cada detector del tren de pulsos emitidos por el láser. Esto se realizó intercalando un espejo que direccionó la luz del láser directamente sobre los detectores sin remover los filtros notch. La correlación de esta señal con la secuencia ideal da la respuesta impulsiva del sistema y permite deconvolucionar esta distorsión de la medición.

IV. Resultados y discusión

En la Fig. 2 se muestra una comparación entre la secuencia ideal y la secuencia medida. La secuencia medida está muestreada con 4 puntos por pulso, lo que permite ver el tiempo de respuesta del sistema, que es del orden de 16 ns. Al ser similar a la duración de cada pulso individual, esto hace que los pulsos aislados no lleguen al valor estacionario, mientras que regiones en que hay varios pulsos consecutivos se llega a una potencia mayor (se codifica sin retorno a cero). Esto da una distorsión entre la secuencia teórica y la medida, como se muestra en la figura 3. En el gráfico (a) se ve un respuesta tipo delta con alguna distorsión a baja frecuencia cerca del pico. En un zoom en el gráfico (b) se observa un patrón ruidoso.

En la Fig. 4 se muestra la reconstrucción de la señal antiStokes con y sin esta deconvolución de la respuesta del sistema. En este caso el tramo sumergido en el baño estaba a 69 °C. Para el algoritmo sin corrección se observa una distorsión de baja frecuencia como consecuencia de la fluctuación en la altura de los pulsos. La deconvolución usando la ecuación (7) y la información mostrada en la figura 3 corrige esta distorsión y se observa una atenuación exponencial en el tramo de fibra a temperatura ambiente. El método reconstruye correctamente la ubicación y ancho de la zona entibiada. Resultados idénticos se observan en la señal Stokes.

En la Fig. 5 se muestra la caracterización de la resolución espacial hecha a partir de determinar la respuesta al escalón en temperatura. Un ajuste exponencial al escalón arrojó una constante de variación de 1,3 m que corresponde a un salto de 10 % a 90 % de 2,5 m. En la resolución teórica de 2 m el escalón se alza a un 80 % de su valor máximo.

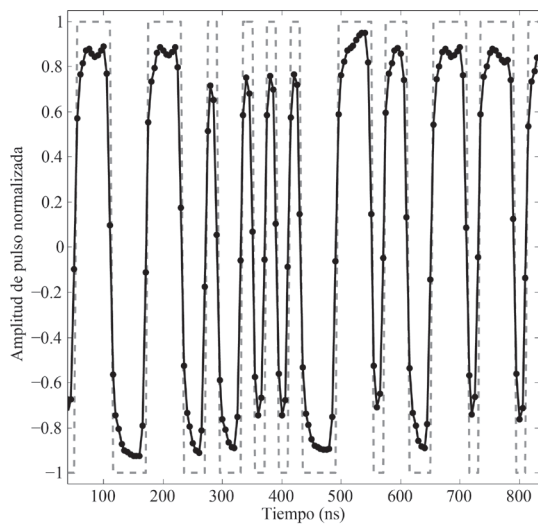


Fig. 2

Comparación entre la secuencia medida (línea sólida) y la teórica (línea punteada). Se observa una modulación de la altura de los pulsos en función del ancho, causando una distorsión en la correlación.

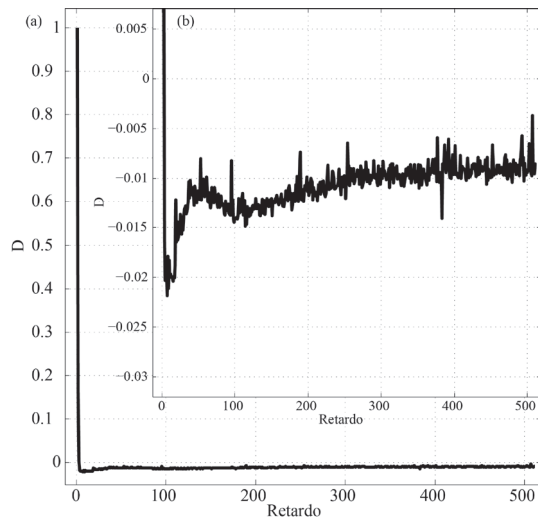


Fig. 3

a) Función de correlación entre la secuencia medida y la teórica, mostrando un comportamiento similar a una delta, pero con una distorsión sistemática.

(b) Misma función graficada en un rango distinto, donde se observa con mayor detalle esta distorsión.

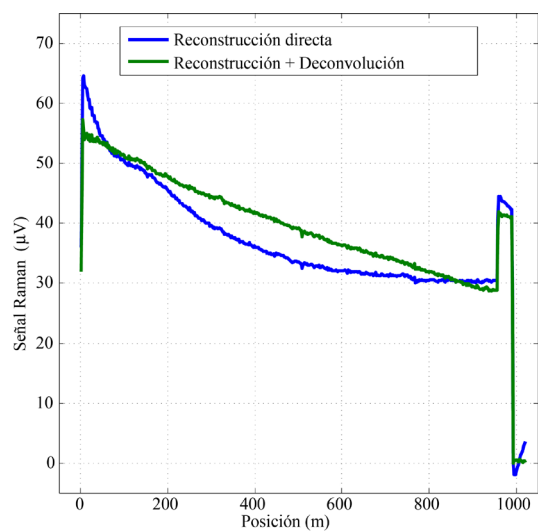


Fig. 4

Reconstrucción espacial de la señal Raman utilizando el método MLS con y sin deconvolución de la respuesta del sistema. Los últimos 30 m del sensor fueron sumergidos en un baño térmico a 69 °C.

Fig. 5

Caracterización de la resolución espacial de método obtenida a partir de estudiar un salto brusco en temperatura. Un ajuste exponencial fue realizado otorgando un valor de subida 10 %-90 % de 2,5 m.

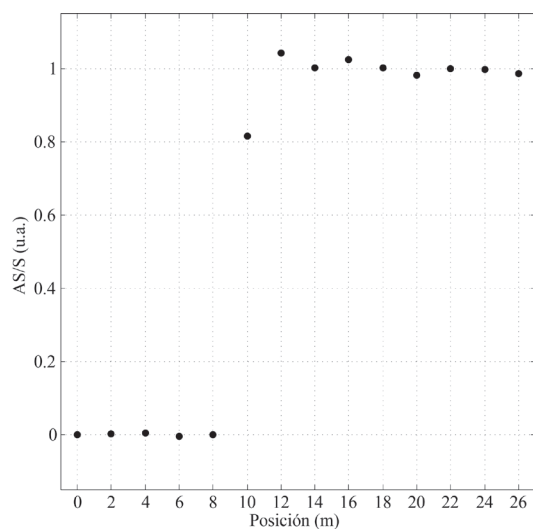


Fig. 6

Calibración en temperatura para el cociente entre las señales AntiStokes y Stokes resultando en una resolución en temperatura de 1.5 °C.

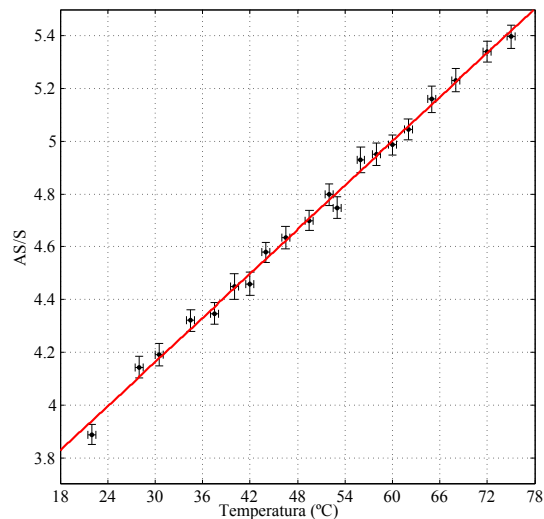
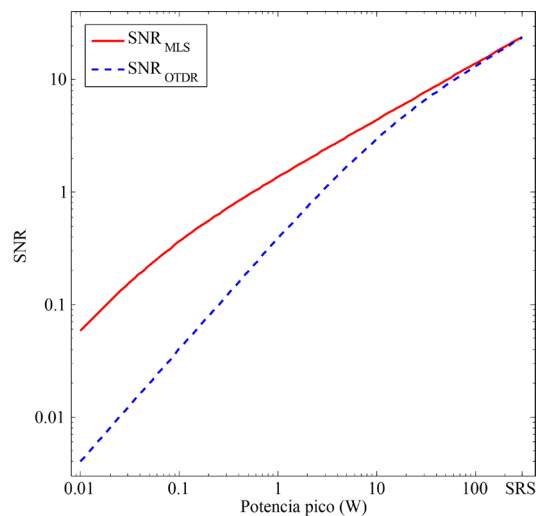


Fig. 7

Comparación para la relación señal-ruido entre los diferentes métodos en función de la potencia pico del haz de bombeo. La potencia límite corresponde al umbral de Raman estimulado (SRS) que se calcula para nuestro dispositivo en aproximadamente 300 W.



Cambiando la temperatura del baño se realizó una calibración de la respuesta con la temperatura de la fibra. Cada punto corresponde a una promediación de $6 \cdot 10^5$ mediciones de $10 \mu\text{s}$ (tiempo de tránsito en la fibra) correspondiendo a 6 s de medición por punto. En la Fig. 6 se muestra el comportamiento lineal con la temperatura en el rango caracterizado. La incerteza en cada punto se estima a partir de la desviación estándar de la porción de fibra a temperatura ambiente y correspondió a $61,5^\circ\text{C}$ para este número de promediaciones.

La relación señal-ruido para ambos métodos es graficada en la Fig. 7 en función de la potencia pico del láser de bombeo para las condiciones de nuestro experimento: fibra de 1 km de longitud, secuencia de $L=511$ ($N=9$), para una fibra de gradiente de índice multimodo. La línea llena roja representa la relación señal-ruido en el método Raman OTDR. Vemos que para toda potencia por debajo de la potencia umbral de Raman estimulado, el método propuesto tiene una relación señal-ruido mayor, lo que significa que la medición puede ser realizada en menor tiempo o a igual tiempo con menores potencias. Para las potencias exploradas (por debajo de 100 mW) se logra una mejora en un factor 11, y un factor 16 es posible si la detección está limitada por ruido de oscuridad. Como el número total de pulsos es proporcional al largo de la fibra e inversamente proporcional a la resolución espacial por lo que la mejora lograda en la relación señal-ruido aumenta con sensores más largos y con una mayor resolución. La mejora en la velocidad de adquisición para una dada resolución en temperatura escala con el cuadrado de la mejora en la relación señal-ruido (ecuación 4) y con la longitud de la secuencia de pulsos. Para nuestro caso particular la mejora en la velocidad en la detección limitada por ruido de oscuridad es de 256 veces.

Conclusiones

Se ha presentado un método para la medición distribuida de temperatura que utiliza una secuencia de máxima longitud y un algoritmo de deconvolución que corrige las distorsiones causadas por el limitado tiempo de respuesta de los dispositivos empleados. Se hizo una demostración experimental de laboratorio con una potencia de 90 mW provista por un láser de semiconductor y una fibra de 1 km de longitud en la que se logró una resolución espacial de 2 m y en temperatura de $1,5^\circ\text{C}$ con un tiempo de medición de 6 s. En comparación con una medición estándar por Raman OTDR se obtiene una mejora en la relación señal-ruido que escala con la raíz cuadrada del número de pulsos en la fibra (aproximadamente la mitad del largo de la secuencia). Consecuentemente se logra una reducción en el tiempo de medición directamente proporcional a este parámetro. Como el largo de la secuencia debe elegirse aproximadamente como el cociente entre el largo de la fibra y la resolución espacial buscada, la mejora es mayor cuanto mayor el largo del sensor y mayor la resolución espacial que se desea.

Referencias

- [1] Bao, X. y Chen, L. "Recent Progress in Distributed Fiber Optic Sensors", *Sensors Journal*, vol. 12, n.º 7, pp. 8601-8639, 2012.
- [2] Ukil, A.; Braendle, H. y Krippner, P. "Distributed Temperature Sensing: Review of Technology and Applications", *Sensors Journal*, IEEE, vol. 12, n.º 5, pp. 885-892, 2012.
- [3] Brown, G. "Downhole Temperatures from Optical Fiber", *Oilfield Review*, vol. 2009, n.º 20, p. 34, 2008.
- [4] Williams, G. R.; Brown, G.; Hawthorne, W.; Hartog, A. H. y Waite, P. C. "Distributed Temperature Sensing (DTS) to Characterize the Performance of Producing Oil Wells" en *Environmental and Industrial Sensing*, pp. 39-54, International Society for Optics and Photonics, 2000.
- [5] Hausner, M. B.; Suárez, F.; Glander, K. E.; Giesen, N. v. d.; Selker, J.
S. y Tyler, S. W. "Calibrating Single-Ended Fiber-Optic Raman Spectra Distributed Temperature Sensing Data", *Sensors Journal*, vol. 11, n.º 11, pp. 10859-10879, 2011.
- [6] Ouyang, L. B.; Belanger, D.; et ál. "Flow Profiling via Distributed Temperature Sensor (DTS) System-Expectation and Reality" en *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, Society of Petroleum Engineers, 2004.
- [7] Koelman, J. V. V.; López, J. L.; Potters, H.; et ál. "Fiber Optic Technology for Reservoir Surveillance" en *International Petroleum Technology Conference*, 2011.
- [8] Costello, C.; Sordyl, P.; Hughes, C. T.; Figueroa, M. R.; Balster, E. P.; Brown, G.; et ál. "Permanent Distributed Temperature Sensing (DTS) Technology Applied in Mature Fields: A Forties Field Case Study" en *SPE Intelligent Energy International*, Society of Petroleum Engineers, 2012.
- [9] Karaman, O. S.; Kutlik, R. L.; Kluth, E. L.; et ál. "A Field Trial to Test Fiber Optic Sensors for Downhole Temperature and Pressure Measurements, West Coalinga Field, California" en *SPE Western Regional Meeting*, Society of Petroleum Engineers, 1996.
- [10] Rahman, M.; Zannitto, P. J.; Reed, D. A.; Allan, M. E.; et ál. "Application of Fiber-Optic Distributed Temperature Sensing Technology for Monitoring Injection Profile in Belridge Field, Diatomite Reservoir" en *SPE Digital Energy Conference and Exhibition*, Society of Petroleum Engineers, 2011.
- [11] Johnson, D. O.; Sierra, J. R.; Kaura, J. D.; Gualtieri, D.; et ál., "Successful Flow Profiling of Gas Wells Using Distributed Temperature Sensing Data" en *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, Society of Petroleum Engineers, 2006.
- [12] Farahani, M. A. y Gogolla, T. "Spontaneous Raman Scattering in Optical Fibers with Modulated Probe Light for Distributed Temperature Raman Remote Sensing" *Journal of Lightwave Technology*, vol. 17, n.º 8, p. 1379, 1999.
- [13] Bolognini, G. y Hartog, A. "Raman-based Fibre Sensors: Trends and Applications" *Optical Fiber Technology*, vol. 19, n.º 6, pp. 678-688, 2013.
- [14] Garus, D.; Gogolla, T.; Krebber, K. y Schliep, F. "Brillouin Optical-Fiber Frequency-Domain Analysis for Distributed Temperature and Strain Measurements", *Journal of lightwave technology*, vol. 15, n.º 4, pp. 654-662, 1997.
- [15] Ghafoori-Shiraz, H. y Okoshi, T. "Fault Location in Optical Fibers Using Optical Frequency Domain Reflectometry", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 4, n.º 3, pp. 316-322, 1986.
- [16] Nazarathy, M.; Newton, S.; Giffard, R.; Moberly, D.; Sischka, F.; Trutna, W. y Foster, S. "Real-Time Long Range Complementary Correlation Optical Time Domain Reflectometer", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 7, pp. 24-38, 1989.
- [17] Mehmood, H.; Sheikh Muhammad, S.; Abbas, A. y Naseem, A. "Hybrid Coding Technique for Pulse Detection in an Optical Time Domain Reflectometer", *Radioengineering*, 2012.
- [18] Jones, M. "Using Simplex Codes to Improve OTDR Sensitivity", *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 5, pp. 822-824, 1993.
- [19] Soto, M. A.; Bolognini, G.; Pasquale, F. D. y Thvenaz, L. "Simplex-Coded BOTDA Fiber Sensor with 1 M Spatial Resolution over a 50 Km Range" *Opt. Lett.*, vol. 35, pp. 259-261, 2010.
- [20] Schroeder, M. R. "Diffuse Sound Reflection by Maximum Length Sequences", *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 57, n.º 1, p. 149, 1975.
- [21] Vorlander, M. y Kob, M. "Practical Aspects of MLS Measurements in Building Acoustics", *Applied Acoustics*, vol. 52, pp. 239-258, 1997.
- [22] Healey, P. "Optical Orthogonal Pulse Compression Codes by Hopping", *Electronics Letters*, vol. 17, n.º 25-26, p. 970, 1981.
- [23] Taki, M.; Muanenda, Y.; Oton, C. J.; Nannipieri, T.; Signorini, A. y Pasquale, F. D. "Cyclic Pulse Coding for Fast BOTDA Fiber Sensors" *Opt. Lett.*, vol. 38, pp. 2877-2880, 2013.
- [24] Soto, M. A.; Nannipieri, T.; Signorini, A.; Lazzeri, A.; Baronti, F.; Roncella, R.; Bolognini, G. y Pasquale, F. D. "Raman-Based Distributed Temperature Sensor with 1 M Spatial Resolution Over 26 Km Using Low-Repetition-Rate Cyclic Pulse Coding", *Opt. Lett.*, vol. 36, pp. 2557-2559, 2011.



Medanito



Por su prestigio internacional, profesionales de todo el mundo eligen a la FIUBA para profundizar y actualizar sus conocimientos en ingeniería.

Inscripción abierta

posgrado@fi.uba.ar



NUESTROS
GRADUADOS

.ing | 36 | 37

La FIUBA en el espacio

Entrevista al **Ing. Juan Cruz Gallo**, jefe del Proyecto Tronador II / III y gerente general y técnico de la empresa VENG S.A, dedicada a la industria aeroespacial.

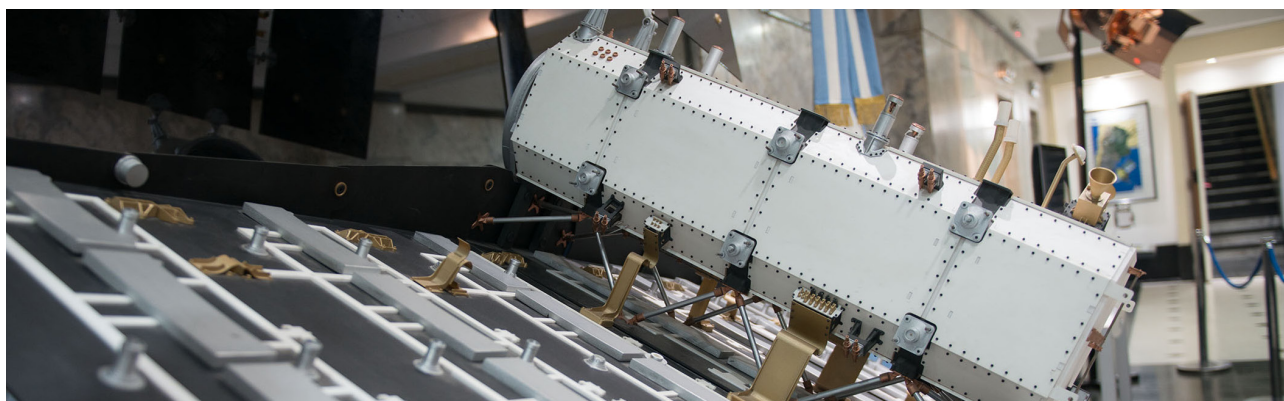
2001 es y será recordado como el Año del Estallido. Sin lugar a dudas, una de las crisis más profundas que haya atravesado la Argentina. Una época en la que, por ejemplo, los medios de difusión masiva entrevistaban a choferes de taxi con título universitario.

Pero 2001 también fue el año en el que el Ing. Juan Cruz Gallo (nacido en julio de 1976, en la Ciudad de Buenos Aires), se graduaba con el título de ingeniero electrónico. En aquellos días, parecía –si no imposible– lejana la idea de que este nuevo profesional pudiera aplicar sus conocimientos en un satélite *made in Argentina*. Más de quince años después, Gallo ejerce funciones en carácter de jefe del Proyecto Tronador II / III y gerente general y técnico de la empresa VENG S. A., controlada por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). “Ambas funciones son concurrentes y tienen por finalidad dirigir el desarrollo de la ingeniería, manufactura y ensayo de los prototipos del lanzador hasta llegar al Tronador II y Tronador III, que pongan satélites en órbita”, explica Gallo, que entre otras responsabilidades debe coordinar el trabajo de más de doscientos profesionales.

De aquellas épocas como estudiante de grado de la FIUBA, se hace un espacio para recordar a un viejo compañero: “Los primeros años los cursé con Agustín, amigo de la infancia que luego se fue a estudiar Materiales al Instituto Sabato y luego emigró a España, donde aún vive. Una persona brillante, aparte de buen amigo. A veces estudiaba con él, pero siempre fui de concentrarme más estudiando solo. Recuerdo que yo era de ponerme nervioso y solía salir a correr. Cuando Agustín se fue al Sabato, me abrí más a otras personas que aún conservo de amigos, todos egresados de Electrónica en la FIUBA”.

¿En qué momento de la carrera se interesó por la ingeniería? Gallo responde con absoluta sinceridad: en su caso, fue el interés en la actividad espacial lo que impulsó su interés por la ingeniería. “Y entendía que dos de los tantos caminos, quizás los más directos eran la ingeniería aeronáutica y la electrónica. Finalmente, opté por la electrónica que me parecía mucho más versátil en aquel momento”.

Cuando a Gallo se le pregunta acerca de su visión sobre la ingeniería a partir de su experiencia profesional, cuenta que “las cosas suelen ser distintas de como uno se las



Padre de tres hijos, de 11 (Francisco), 9 (José) y 6 años (Ana), y adepto en sus horas libres a la filatelia, la numismática y la arquería, Gallo recuerda que cuando tenía 14 años se decidió a hacer un curso de astronomía, en la ciudad de Mercedes, donde se crió desde que nació hasta que ingresó a la UBA. “Allí conocí a una persona maravillosa llamada Ángel Di Palma, también ingeniero, quien trabajó incansablemente para desarrollar el Observatorio Astronómico de Mercedes, el principal observatorio *amateur* del país. Ahí empecé, digamos, a aprender sobre astronomía y ciencias duras”.

“La carrera la inicié con el CBC, en 1995. Al principio, el salto resultó importante y la verdad es que no sentí estar preparado desde la educación de la escuela. Notaba cierta diferencia con los compañeros que venían de una formación de escuela industrial. Mi formación en letras (el distintivo de mi escuela era que mantenía hasta entonces la enseñanza del latín) me daba otra cultura general, pero no ayudaba a la hora de resolver problemas de física o matemática”, reflexiona.

imagina cuando es un poco más ignorante en el tema... Pero esas diferencias no han sido contradictorias con las expectativas, sino que se me han abierto como un abanico nuevo y siempre interesante a medida que me fui abriendo paso en mi actividad profesional”.

Formado, entonces, desde la educación pública, este ingeniero electrónico sostiene que la universidad guarda la enorme función de ser un semillero para el crecimiento del país: “Creo que esa es la función principal y desde ya que es mucho más enriquecedor trabajar en conjunto con los destinatarios de esas semillas que se convertirán en profesionales. En ese sentido, el sector privado o aún el público muy especializado (como podría ser CONAE, CONICET, etc.) tienen mucho para dar y recibir de la universidad. Personalmente, he trabajado en todos los proyectos de CONAE codo a codo con la universidad, tanto desde la UBA como de otras casas de estudios del país, y siempre la experiencia fue buena en resultados concretos y en la materia gris que se fue desarrollando”. ■

A close-up portrait of an elderly man with white hair, wearing a brown patterned jacket over a light-colored striped shirt and a dark tie. He is looking slightly to the side with a gentle expression. In the background, a chalkboard with mathematical equations is visible.

ACTORES
DE LA FIUBA

.ing | 38 | 39

Emérito

Entrevista al Ing. Carlos A. Pérez,
seis décadas de trayectoria
para la ingeniería.

Si de metrología se trata, su nombre aparece como referencia ineludible. Así lo acreditan seis décadas de trayectoria docente en el Departamento de Electrotecnia de la FIUBA. Así lo asevera, por ejemplo, su aporte en la formación de profesionales, su vasta producción científica o la participación en numerosos congresos y seminarios de distintas partes del mundo. Acostumbrado a controles de trazabilidad, con la avidez intacta por cuantificar sistemas de unidades y comparar patrones, a los 88 años de vida, el Ing. Carlos A. Pérez obtuvo un reconocimiento a la calidad de sus trabajos. El Consejo Superior de la UBA lo designó Profesor Emérito de esta Casa de Estudios como un homenaje a la medida de su vocación por la ingeniería.

A lo largo de su carrera, el Ing. Pérez llevó adelante numerosos proyectos de investigación en el área de la metrología eléctrica; integró comités evaluadores en universidades nacionales e internacionales y realizó publicaciones docentes como “Mediciones eléctricas I y II” o “Los servicios públicos de electricidad y la Industria electromecánica argentina”, entre otras.

Además, trabajó como director general de Evaluación Energética de la Secretaría de Energía de la Nación; fue miembro del Consejo Directivo del Organismo Argentino de Acreditación (OAA) y participó en distintas actividades del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) y del Comité Electrotécnico Argentino (CEA).

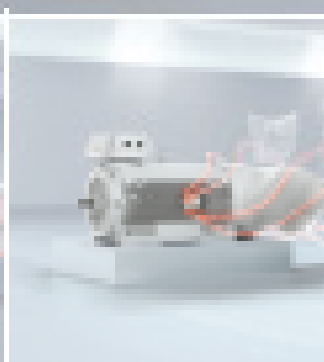
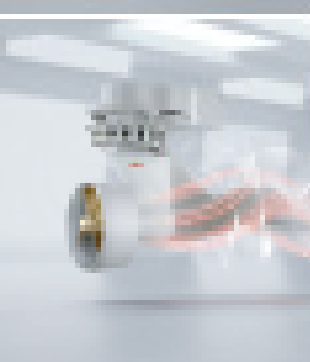
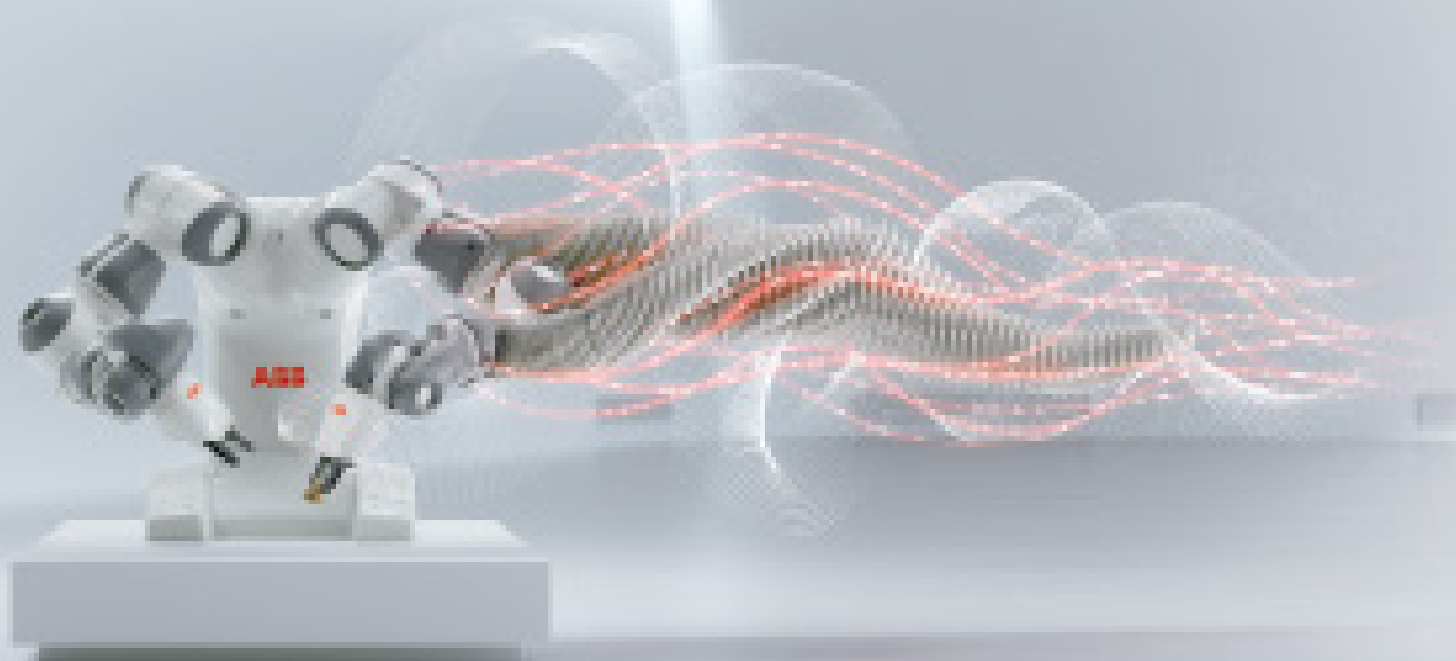
“Comencé como profesor adjunto en el año 62” –recuerda Pérez–, que por esa época, en línea con las primeras intenciones estatales de establecer un parámetro nacional de calibración, impulsaría también la actividad del Laboratorio Eléctrico de Metrología (LEM).

“Como estuve becado en el PTB de Alemania (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) en varias oportunidades y en el Instituto Galileo Ferraris de Torino, Italia, pudimos tomar contacto con expertos en metrología eléctrica y así calibrar instrumentos propios en forma gratuita –explica Pérez–. Eso nos permitió, hacia los ochenta, acrecentar el laboratorio con instrumental adquirido de muy alta exactitud. Y luego, hacia los noventa, establecer un sistema de calibración referido a manuales internacionales de calidad.

Al ser consultado por el impacto de la tecnología en su área de trabajo, el nuevo Profesor Emérito de la UBA asegura que si bien los instrumentos digitales proporcionan mediciones más exactas que sus antecesores, de acuerdo a su mantenimiento y funcionalidad específica, tal vez los analógicos sean más permanentes en sus calibraciones. “El multímetro, por ejemplo, puede medir tensiones, corrientes, resistencias, circuitos en continua, en alterna, hasta puede medir temperatura. Este tipo de instrumentos digitales son ventajosos económicamente. Pero en algunos casos, por razones de practicidad, conviene tener varios instrumentos dispersos de distintas funciones, porque si falla uno, se puede medir otras magnitudes”, argumenta.

El apego a las herramientas del pasado se aplica también a su formación como ingeniero. Pérez concluye la entrevista enseñando los trabajos de Manuel Bahía y Jorge Newbery que atesora el museo del LEM. “Son los pioneros de la Ingeniería Eléctrica en Argentina”, precisa con admiración. Así como en las calibraciones, la labor de este Profesor Emérito de la UBA se mide con referencias de una calidad mayor. Pero en este caso no hay incertidumbres: ha seguido su legado. ■

**Let's write the future.
Together.**



**Productos de Electrificación, Automatización Industrial,
Robótica y Redes Eléctricas.**

ABB S.A. / 0000 - 0000 - 0000 / www.abb.com/latam
ventas@abb.com | ventas@abb.com | ventas@abb.com

ABB

GRANDES PROYECTOS FORMAN NUESTRA HISTORIA Y VOS PODÉS SER PARTE DE ELLA.

El Grupo Techint mantiene un fuerte compromiso con el desarrollo académico y profesional de los jóvenes, brindando oportunidades únicas de carrera.

