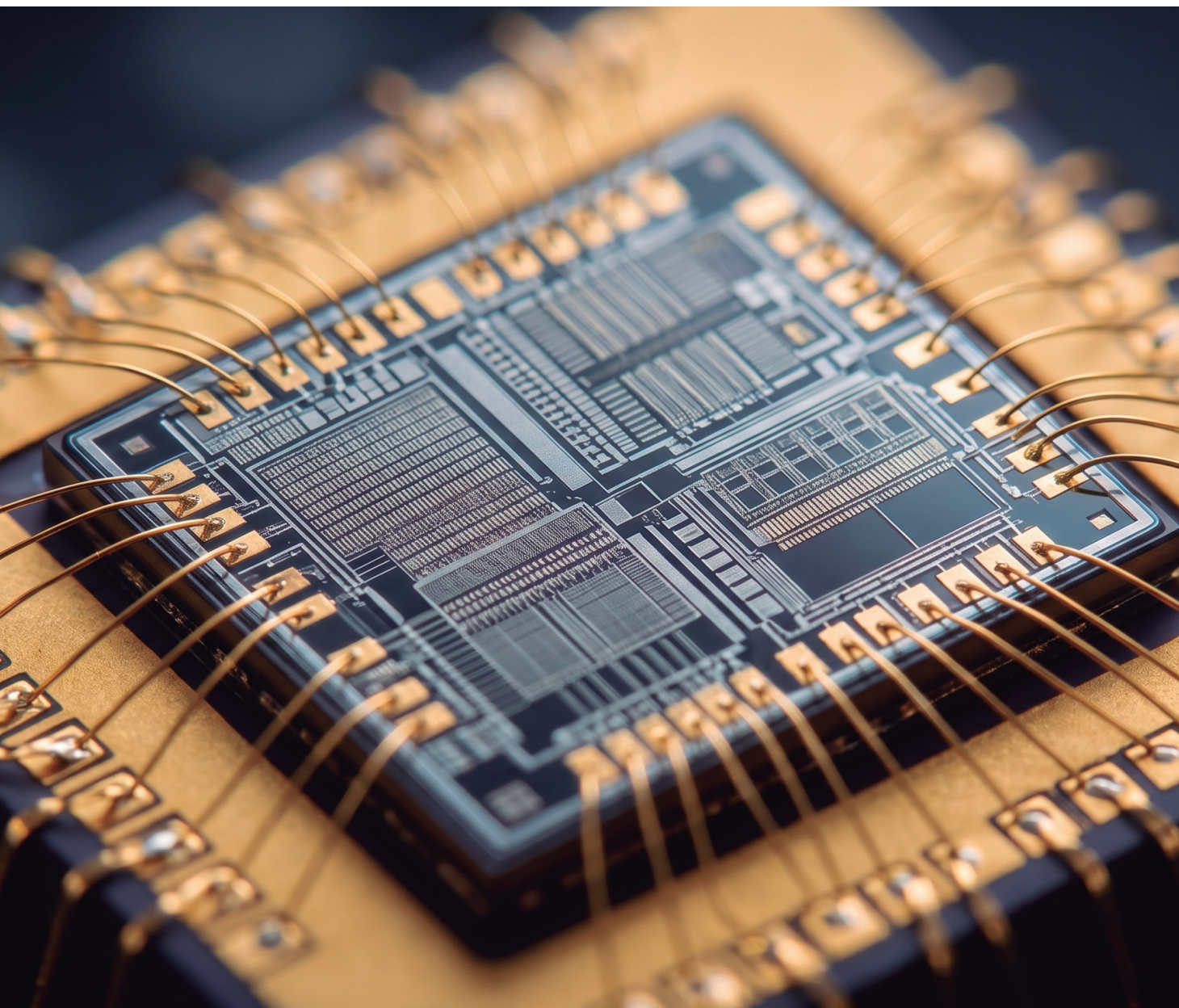




COORDENADAS 125.

Año XXXVIII | N°125 | Junio-Julio/2026



artículo técnico

6 **Microelectrónica: una disciplina estratégica para el desarrollo tecnológico nacional**

1 editorial
Copitec 2.0

4 noticias
Nuevos matriculados... ¡Bienvenidos!

22 artículo técnico
El calzado y los efectos de la electricidad estática

NOSOTROS



Autoridades

Presidente:

Ing. Enrique Luciano Larrieu-Let

Vicepresidente:

Ing. Roberto Osvaldo Mayer

Secretario:

Ing. Luis Alberto Chavarría

Tesorero:

Téc. Javier Bernardo Gratz

Consejeros titulares:

Ing. Juan Manuel Beltrán

Ing. Luis Alberto Bibini

Ing. Fabián Salvador Piscitelli

Consejeros suplentes:

Ing. Hernán Martín Anté

Ing. Marcelo Alberto Crivelli

Ing. Martín Carlos Letier

Ing. Norberto Jesús Solís

Téc. Juan Antonio Vrana

Comisión revisora de cuentas:

Ing. Eduardo Manuel Caparrós

Ing. Pablo Bernabé Ramón Crivello

Téc. Martín Alejandro Durand



► COORDENADAS 125.

Es la única publicación oficial de



Contenidos

- **editorial** 1 Copitec 2.0
- **noticia** 4 Nuevos matriculados... ¡Bienvenidos!
- **artículo técnico** 6 Microelectrónica: una disciplina estratégica para el desarrollo tecnológico nacional
- **libro** 14 Capítulo 4: Redes PAN basadas en Bluetooth
- **noticia** 21 Poné tu matrícula al día en pasos simples
- **artículo técnico** 22 El calzado y los efectos de la electricidad estática

COPITEC | Perú 562, CABA, Argentina | www.copitec.org.ar

Contacto: secretaria@copitec.org.ar

matricula@copitec.org.ar | consultas@copitec.org.ar

Realización integral Revista Coordinadas:

Editores SRL | consultas@editores.com.ar

1. COORDENADAS es una publicación de EL CONSEJO, según registro de propiedad intelectual n°1.904.071

2. Los artículos técnicos y opiniones vertidas son responsabilidad de sus respectivos autores y no reflejan necesariamente la opinión de las autoridades de EL CONSEJO.

3. La propiedad intelectual de la publicación coordinadas, será exclusivamente de EL CONSEJO y se permite su producción total o parcial citando a la fuente

Copitec 2.0



Enrique Larriou Let
Presidente COPITEC

Hay muchos temas para comentar, y acciones que se están llevando a cabo, pero varias son efímeras, circunstanciales y, en algunos casos, nada gratas ni positivas.

Próximamente, estaremos comunicando la implementación de lo que denominamos “Copitec 2.0”, un nuevo hito en la historia del Consejo

Hoy les quiero comentar algo que, esperamos todos los miembros de esta Comisión Directiva, sea un gran beneficio para la institución y para los matriculados que la prestigian. Próximamente, estaremos comunicando la implementación de lo que denominamos “Copitec 2.0”, un nuevo hito en la historia del Consejo, la puesta en producción de un nuevo sistema informático donde el matriculado se verá muy beneficiado en cuanto a fiabilidad de información, confiabilidad en los pagos y cobros, agilidad en los trámites; un sis-

tema de autogestión y una credencial digital disponible en todo momento, entre otras cosas.

Como todo *startup*, nunca se comporta como uno desea ciento por ciento. Siempre aparece algo que no estaba previsto, o que no se dejó visualizar en etapas de desarrollo y recién aparece cuando el sistema está en producción con datos y actores reales y no de prueba. O también puede suceder que el contexto cambia, aparecen carreras y títulos nuevos no contemplados, legislación nueva, o cualquier elemento externo que obliga a actualizaciones imposibles de imaginar hasta que ocurren.

La puesta en producción va a ser gradual y se los irá invitando a acceder al portal paulatinamente a fin de recibir la realimentación de los que se van incorporando al sistema y, de esa manera, ir mejorándolo, si es necesario.

La puesta en producción va a ser gradual y se los irá invitando a acceder al portal paulatinamente

El criterio para ir incorporando matriculados al sistema es empezar por los más recientes, ya que se cuenta con la información en formato digital y completa. Ocurre que para cada matriculado se está yendo a las fuentes para cargar su información, y no se migran los datos existentes en documentos tipo Excel, Word o algún sistema contable con datos parciales e incorrectos. Hasta se está consultando el título original con el objetivo de constatar datos elementales que un consejo profesional debe tener, como ser la denominación exacta del título y de la institución que lo otorga, así como la fecha de egreso que lo habilita para matricularse. Para dar solo un ejemplo, yo mismo tuve que presentar todo como si fuera un matriculado nuevo, hasta el título, porque no se hallaba en mi legajo.

2

El criterio para ir incorporando matriculados al sistema es empezar por los más recientes, ya que se cuenta con la información en formato digital y completa.

Gracias a este trabajo quirúrgico es que se van detectando numerosas falencias en los registros del COPITEC, que esperamos que, con la colaboración de todos, vayamos depurando y sosteniendo en el tiempo. Pero este proceso minucioso conlleva un costo en tiempo de búsqueda en archivos en papel de difícil acceso y de difícil lectura y tratamiento para escanear debido a la mala calidad y, en algunos casos, preservación. Este tiempo va a implicar paciencia y tolerancia a los matriculados, pero es el precio que debemos pagar para tener exactitud en la información que les pertenece y que podrán acreditar con el aval del COPITEC ante quien corresponda en el momento que lo

deseen. Toda esta información va a estar en lo que se denominó “módulo general”.

Qué poco creíbles serían como profesionales si en su propio Consejo figurara mal su número de matrícula, su DNI, su nombre y apellido o su título

Qué poco creíbles serían como profesionales si en su propio Consejo figurara mal su número de matrícula, su DNI, su nombre y apellido o su título. Muchos han sido víctimas de estos errores cuando han realizado algún trámite. Imagínense los que hemos encontrado durante este proceso. Por eso se tomó la decisión de ir a las fuentes para cargar información, derivando en un proceso más lento, pero libre de los errores previos, esperando que el vuelco a producción no produzca otro tipo de errores. Para esto, esperamos contar con la colaboración de todos para verificar que la información de ustedes que el COPITEC tiene registrada sea la correcta y actualizada. Debido a que nunca se solicitó actualización de ciertos datos como teléfono y domicilio de contacto es que se va a solicitar que lo completen. También van a poder modificar sus otros datos.

No va a ser de extrañar que a los matriculados antes del 2019 se les pida documentación

No va a ser de extrañar que a los matriculados antes del 2019 se les pida documentación como DNI, CUIT/ CUIL, plan de estudios, alcance o incumbencia del título.

lo, y alguna otra documentación que por entonces no se solicitaba ni se digitalizaba.

De hecho, lo primero que el sistema les va a pedir al ingresar es que completen y validen sus datos personales básicos, que podrán verificar y actualizar cuando lo deseen, ya que son sus datos y deben estar disponibles para ustedes sin necesidad de solicitarlos.

Lo primero que el sistema les va a pedir al ingresar es que completen y validen sus datos personales básicos

También se incluyó lo que considero uno de los tres módulos más importantes, no sé si es el más importante o no, pero sí sé que es el primero que debe interactuar con el profesional, que es el módulo de matriculación, donde se encuentra integrado todo el procedimiento de matriculación con los otros dos módulos importantes, que son el de pago y el de encomiendas, hoy totalmente disociados y propensos a inconsistencias entre ellos, tal como figurar con nombre, DNI o número de matrícula diferente en cada procedimiento.

Otro tema importante incluido en el módulo de matriculación es que la credencial va a ser digital y podrá ser validada con un QR activo accesible desde cualquier dispositivo notebook, tablet o celular.

La credencial va a ser digital y podrá ser validada con un QR

También se sumó un módulo de pagos donde figurará el estado de pagos a partir de la puesta en servicio del sistema. Cargar lo histórico requerirá un plazo de tiempo considerable y no lo consideramos necesario en esta etapa, donde lo importante a tener en cuenta es la próxima matrícula 2027, que su pago se realice de manera confiable y segura y se minimicen los inevitables errores humanos involuntarios de información, de pagos y de facturación, permitiendo una conciliación diaria y eliminando los incidentes que muchos han sufrido alguna vez con este tema.

Finalmente, en esta primera etapa se espera incorporar el procedimiento (módulo) de encomiendas, donde se dará inicio y cobro al trámite de encomiendas que interactuará con el actual sistema de análisis, validación y aprobación de las encomiendas.

A futuro, esperamos que este proceso de modernización continúe en futuras gestiones incorporando más módulos de trámites, servicios y contable necesarios para una gestión eficaz y eficiente que un consejo profesional de telecomunicaciones, electrónica y computación debe tener.

Este tema fue otro de los compromisos que asumimos al iniciar esta gestión y lo estamos cumpliendo.

Este tema fue otro de los compromisos que asumimos al iniciar esta gestión y lo estamos cumpliendo. Seguiremos trabajando en la reingeniería del Consejo, a fin de que sea sostenible en el tiempo y en beneficio de los matriculados que integran esta institución independientemente de quién la presida o gestione. ▶

Nuevos matriculados...

¡Bienvenidos!

Damos la bienvenida a nuestros nuevos y nuevas matriculadas. Celebramos su llegada a nuestra institución.

Licenciados/as	L0452: Pablo Menin, licenciado en Sistemas, UP L0453: Roxana Claudia Vanina Gerez, licenciada en Tecnología de la Información, IUPFA L0454: Mauro Matías Pera, licenciado en Tecnologías de la Información y Comunicación para la Seguridad Pública, IUPFA L0455: Juan Pablo Beltrán, licenciado en Tecnologías de la Información y Comunicación para la Seguridad Pública, IUPFA L0456: Cecilia Boggi, licenciada en Análisis de Sistemas, UBA
Ingenieros/as	I06986: Candela Esquivel, ingeniera en Informática, UADE I06987: Cristian Jorge Calvo, ingeniero en Sistemas Informáticos, UAI I06988: Pablo Alberto Vilchez, ingeniero en Sistemas de Información, UTN I06989: Oscar Gustavo Manuel Pereira Arce, bioingeniero, UNER I06990: Agustín Quintana Murta, ingeniero en Informática, UCA I06991: Marcelo Javier Seoane, ingeniero en Sistemas de la Información, UTN I06992: Emmanuel Silvano Telesco, ingeniero en Electrónica, UNDEF I06993: Norberto Gastón Pérez, ingeniero en Informática, UNDAV I06994: Darío Gabriel Abello, ingeniero en Electrónica, UTN I06995: Hernán Alejandro Karellicki, ingeniero en Electrónica, UTN I06996: Leandro Martín Defilipi, ingeniero en Electrónica, UNLaM I06997: Rubén Carlos Murahovsky, ingeniero en Electrónica, UTN I06998: Martín Sebastián Van Dick, bioingeniero, UNAJ I06999: Gastón Ariel Ocampo, ingeniero en Sistemas, UdeMM I07000: Alexander Rafael López Zavaleta, bioingeniero, UNER I07001: Claudio Omar Pistoia, ingeniero en Sistemas de la Información, UTN I07002: José Baltazar Sandaza, ingeniero en Electrónica, IESE I07003: Vanesa Pla, ingeniera en Sistemas de la Información, UTN I07004: Pablo Gabriel Osete, ingeniero en Electrónica, UTN



CONSEJO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES, ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN

Bioingeniería, informática, higiene y seguridad,
y otras actividades afines.

Ingenieros/as

- I07005: Martín Alejandro Forte, ingeniero en Electrónica, UBA
- I07006: Agustina Verschoor, ingeniera biomédica, Universidad Austral
- I07007: Agustina Belén Descalzo, ingeniera biomédica, Universidad Austral
- I07008: Sofía Paula Speri, ingeniera biomédica, Universidad Favaloro
- I07009: Denis Rubén Heredia Marquina, ingeniero en Electrónica, UNRN
- I07010: Edgardo Exequiel Benjamín, ingeniero en Electrónica, UNComa
- I07011: Franco Javier Bornancini, ingeniero en Electrónica, Universidad Blas Pascal
- I07012: Julián Guido Giampetruzzi, ingeniero en Electrónica, UTN
- I07013: Maximiliano María Siri, ingeniero en Electrónica, ITBA
- I07014: Federico Martín Rossi, ingeniero en Informática, UBA

Técnicos

- T03690: Pedro Nahuel Rolandi, Nuestra Señora de La Salette
- T03691: Enrique Walter Saracco, ENET 28 "República Francesa"
- T03692: Jorge Daniel Encinas, Universidad de la Defensa Nacional
- T03693: Ezequiel Colla, Universidad Tecnológica Nacional
- T03694: Pablo Rodrigo Abelanda, ENET 28 "República Francesa"
- T03695: Leonardo Andrés Delgado, ENET 1 "Manuel Belgrano"
- T03696: Uriel Maximiliano Méndez de la Fuente, ENET 2 "Rodolfo Walsh"
- T03697: Marcelo Daniel Romero, Universidad Tecnológica Nacional
- T03699: Jorge Rubén Colletti, EET 7 de Quilmes
- T03700: Franco Adrián Vallero Kamenoff, EET 5 "2 de Abril"
- T03701: Facundo Abel Murillo, Instituto Industrial Luis A. Huergo
- T03702: Gianluca Melli, EET 6 de La Matanza
- T03703: Daniel Malagamba, Instituto Industrial Luis A. Huergo

Microelectrónica: una disciplina estratégica para el desarrollo tecnológico nacional

Mariano Andrés García Inza

Director de Posgrados en Microelectrónica
FIUBA

La microelectrónica constituye uno de los pilares fundamentales de la ingeniería electrónica. Se trata de una disciplina que aborda el diseño, fabricación y validación de circuitos integrados, es decir, sistemas electrónicos completos miniaturizados dentro de un único chip semiconductor. Estos circuitos son el corazón de prácticamente todos los dispositivos tecnológicos contemporáneos: desde teléfonos móviles y computadoras, hasta los chips para inteligencia artificial, autos eléctricos, equipamiento médico, infraestructura de telecomunicaciones y aplicaciones aeroespaciales.

En términos técnicos, la microelectrónica integra conocimientos provenientes de diversas áreas, tales como la física del estado sólido, la ciencia de materiales, la tecnología de semiconductores, el diseño de circuitos analógicos y digitales, la arquitectura de sistemas, la verificación funcional y los procesos de fabricación a escala nanométrica. Esta

convergencia disciplinar le otorga un carácter altamente especializado y, al mismo tiempo, transversal a múltiples sectores productivos [1].

La microelectrónica se remonta a mediados del siglo XX, con la invención del transistor en 1947

Desde una perspectiva histórica, el desarrollo de la microelectrónica se remonta a mediados del siglo XX, con la invención del transistor en 1947 y, posteriormente, del circuito integrado a finales de la década de 1950. El siguiente salto fue el desarrollo de la tecnología CMOS (por las siglas en inglés de “semiconductor complementario de óxido metálico”), que impulsó la revolución de los circuitos digitales gracias a la reducción de consumo.

A partir de ese momento, se inició un proceso sostenido de miniaturización, impulsado por la conocida Ley de Moore. Esta observación, formulada por Gordon Moore —cofundador de Intel— en 1965, predijo que el número de transistores integrados en un chip se duplicaría aproximadamente cada dos años. En la práctica, esto efectivamente resultó en un crecimiento exponencial de la capacidad de procesamiento: si en los inicios de la era integrada un chip contenía decenas de transistores, los procesadores modernos alojan decenas de miles de millones en una superficie del tamaño de una uña. Esta ley no solo describió una tendencia tecnológica, sino que operó como una hoja de ruta para la industria: fabricantes, diseñadores y científicos orientaron sus inversiones y esfuerzos para mantener ese ritmo de avance. Sus efectos se materiali-

zaron en la reducción continua del costo de los dispositivos electrónicos, el incremento de su velocidad y eficiencia energética. Asimismo, generó el contexto adecuado para el surgimiento de tecnologías disruptivas que hoy resultan cotidianas e indispensables.

Este contexto impulsa la búsqueda de nuevos paradigmas en el diseño de chips

Cabe señalar que, si bien la Ley de Moore no es una ley física en sentido estricto —sino una observación empírica con implicancias estratégicas—, su vigencia como referencia del progreso tecnológico se mantiene, aunque con señales de desaceleración en las últimas décadas a medida que los límites físicos de la miniaturización se acercan a la escala atómica. Este contexto impulsa la búsqueda de nuevos paradigmas en el diseño de chips, como la integración tridimensional, los nuevos materiales semiconductores y la computación cuántica [1].

La evolución de la microelectrónica no solo ha transformado la industria electrónica, sino que ha redefinido la forma en que las sociedades producen, se comunican, acceden a la

información y organizan sus sistemas productivos. En este sentido, su relevancia excede el ámbito estrictamente técnico para convertirse en un factor clave del desarrollo económico y estratégico de los países.

Importancia global y dimensión geopolítica

En la actualidad, la industria de los semiconductores —núcleo de la microelectrónica— es considerada uno de los sectores más críticos a nivel global. Su importancia radica no solo en su valor económico directo, sino en su rol habilitador de prácticamente todas las demás industrias tecnológicas.

Los semiconductores han adquirido un carácter estratégico en términos de soberanía tecnológica

El mercado global de semiconductores mueve cientos de miles de millones de dólares anuales y se encuentra en constante expansión, impulsado por tendencias como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés), la computación en la nube, las redes de comunicación de alta velocidad y los vehículos eléctricos [2, 3, 4]. Sin

embargo, más allá de su dimensión económica, los semiconductores han adquirido un carácter estratégico en términos de soberanía tecnológica.

En los últimos años, las principales economías del mundo —Estados Unidos, la Unión Europea, China, Corea del Sur y Japón— han implementado políticas activas para fortalecer sus capacidades en microelectrónica. Estas políticas incluyen subsidios a la producción, incentivos fiscales, inversiones en investigación y desarrollo, y restricciones a la exportación de tecnologías críticas [5].

Este fenómeno responde a una preocupación central: la alta concentración geográfica de la capacidad de fabricación de semiconductores. La dependencia de cadenas de suministro globales complejas y vulnerables quedó en evidencia durante la pandemia de COVID-19, cuando la escasez de chips afectó industrias enteras, desde la automotriz hasta la electrónica de consumo.

En consecuencia, la microelectrónica se ha convertido en un elemento central de la competencia geopolítica contemporánea. Los países buscan no solo garantizar el acceso a estos componentes, sino también desarrollar capacidades en sus propios territorios que abarquen diseño, producción y validación. En este contexto, la formación de recursos humanos altamente calificados adquiere un rol de suma importancia.

Los países buscan no solo garantizar el acceso a estos componentes, sino también desarrollar capacidades en sus propios territorios

Antecedentes en Argentina: la División Electrónica de FATE

Para comprender el desarrollo actual de la microelectrónica en Argentina, resulta imprescindible remontarse a una experiencia pionera que colocó al país en la frontera del conocimiento tecnológico mundial: la División Electrónica de FATE.

En 1969, la empresa argentina FATE —de capitales nacionales— tomó la audaz decisión de diversificarse hacia la electrónica de alta tecnología. Bajo el liderazgo del físico Carlos Varsavsky y del ingeniero Roberto Zubieta —quien había dirigido el Laboratorio de Semiconductores de la Facultad de Ingeniería de la UBA—, se conformó un equipo de élite de ingenieros y científicos argentinos con el objetivo explícito de diseñar y fabricar productos electrónicos de punta sin licencias de tecnología extranjera.

El primer fruto de este emprendimiento fue la calculadora Cifra 311, lanzada en 1971 y considerada una

de las primeras calculadoras electrónicas del mundo [14]. El desarrollo implicó el diseño propio del hardware, la utilización de circuitos integrados TTL, la fabricación de circuitos impresos de doble faz con agujero metalizado, y el encapsulado de componentes semiconductores mediante tecnología propia. El resultado fue altamente competitivo, logrando un muy buen posicionamiento en el mercado argentino, incluso llegó a exportarse a Inglaterra, México y Brasil.

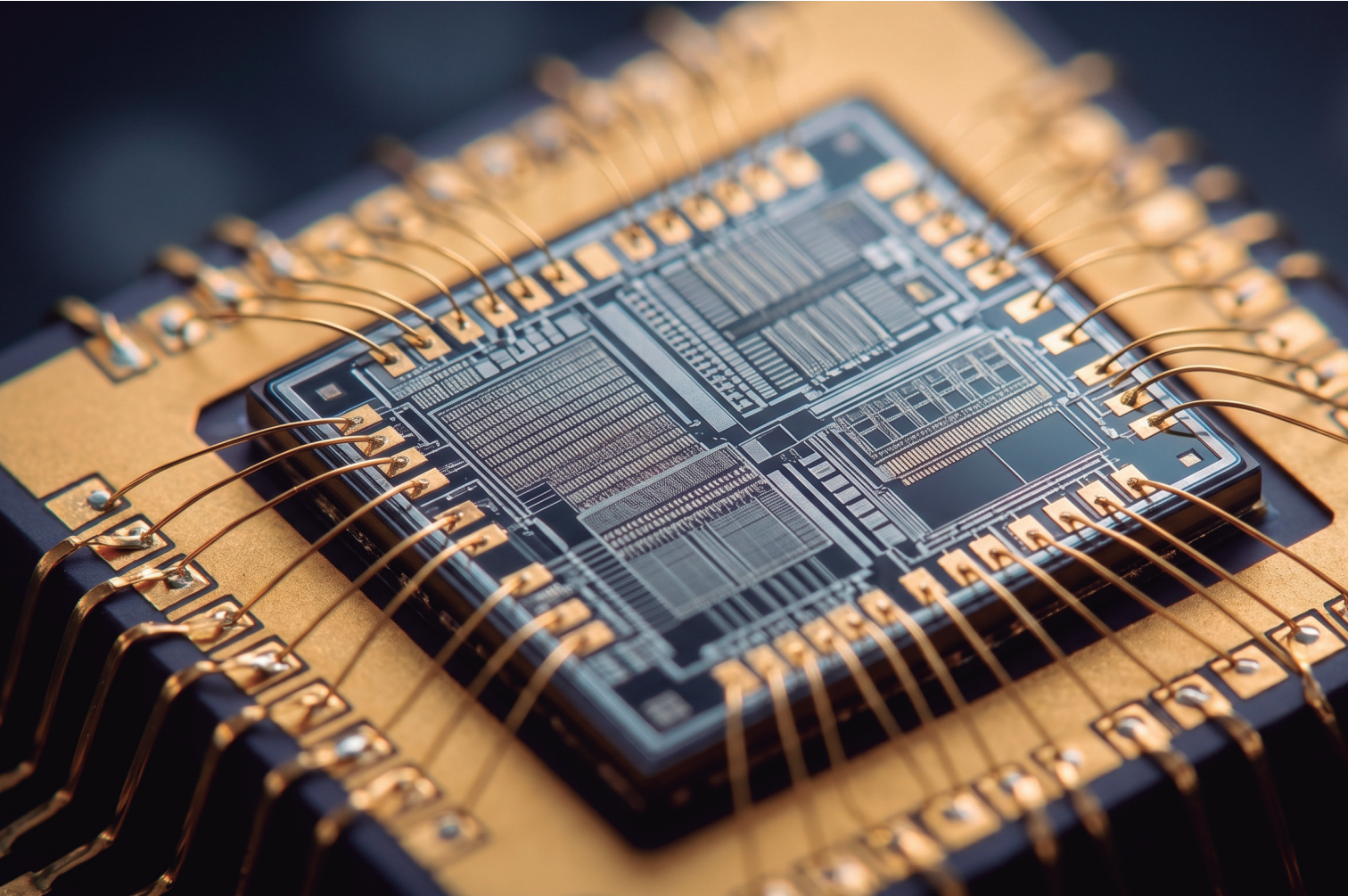
La calculadora Cifra 311, lanzada en 1971 y considerada una de las primeras calculadoras electrónicas del mundo

La División Electrónica creció rápidamente: de seis empleados fundadores llegó a ochocientos sesenta trabajadores en 1975, con un área de Investigación y Desarrollo de más de ochenta ingenieros y científicos —aproximadamente un tercio de todos los profesionales de ese tipo empleados en la industria manufacturera argentina en ese período. Se lanzaron sucesivas líneas de productos, incluyendo calculadoras de escritorio y de bolsillo, máquinas de

contabilidad y minicomputadoras, todas con creciente integración de componentes nacionales.

La ambición del proyecto alcanzaba la integración vertical completa del proceso productivo. En 1974 comenzó la construcción de una planta para la fabricación de 100.000 circuitos integrados mensuales. Se proyectaba avanzar incluso hasta la etapa de difusión de silicio, lo que habría posicionado a Argentina como uno de los pocos países en desarrollo con capacidad de fabricación de semiconductores desde cero. Paralelamente, se avanzaba en el desarrollo de la computadora Cifra 1000 y en un convenio con la empresa japonesa Seiko para la fabricación local de impresoras.

Sin embargo, este proceso de desarrollo tecnológico soberano fue abruptamente interrumpido. La cancelación de un proyecto que posicionaba a Argentina en la frontera del conocimiento respondió más que a razones económicas, a fundamentos ideológicos e imposiciones políticas. La trayectoria de la División Electrónica de FATE contradecía flagrantemente el discurso liberal que se impuso a América Latina.



Este proceso de desarrollo tecnológico soberano fue abruptamente interrumpido

El gobierno militar que ocupó el Estado argentino en 1976 implementó una serie de políticas que contrariaba cualquier estrategia a favor de la autonomía tecnoproductiva. A nivel nacional se interrumpieron los programas de protección local, se eliminaron aranceles y se privilegió la valorización financiera sobre la producción industrial. Bajo esas pre-

misas, el edificio construido para la planta de circuitos integrados nunca pudo ser ocupado. Los líderes del proyecto fueron identificados por la inteligencia militar y la empresa cerró su División Electrónica en 1978, cuando la planta fue adquirida por NEC para ensamblar sus propios productos.

La experiencia de FATE constituyó una demostración fehaciente de que Argentina contaba con el capital humano y la capacidad organizacional para competir en el diseño y fabricación de semiconductores. Su interrupción forzada no fue el resultado de una falla técnica ni de inviabilidad económica, sino de una decisión política que truncó décadas de potencial acumulado [14].

Argentina contaba con el capital humano y la capacidad organizacional para competir en el diseño y fabricación de semiconductores

Oportunidades para la microelectrónica en Argentina

Argentina, si bien no cuenta con plantas de fabricación masiva de semiconductores (*foundries*), posee capacidades relevantes en el ámbito del diseño y la validación de circuitos integrados. Estas actividades, que forman parte de lo que se conoce como la «cadena de valor sin fábrica» (*fabless*), representan una oportunidad estratégica para países con fuerte base en capital humano calificado [6].

Aires. Esta empresa es líder global en soluciones de sensado y control de potencia, particularmente en la industria automotriz. Sus desarrollos están orientados a aplicaciones como movilidad eléctrica, sistemas de eficiencia energética y automatización, contribuyendo a la transición hacia tecnologías más sustentables. A nivel global, Allegro produce más de mil millones de unidades por año y abastece a miles de clientes, incluyendo numerosos fabricantes de vehículos.

Por su parte, Marvell Technology [12] cuenta con un centro de diseño en la ciudad de Córdoba, enfocado en soluciones de infraestructura de datos. Sus desarrollos abarcan áreas como comunicaciones de alta velocidad, almacenamiento, seguridad y procesamiento de datos, siendo componentes esenciales para centros de datos, redes de telecomunicaciones y sistemas empresariales.

En conjunto, estas empresas emplean más de cuatrocientos cincuenta ingenieros en tareas de diseño y validación de circuitos integrados en el país. Este número, aunque modesto en comparación con polos tecnológicos globales, resulta significativo en el contexto local y evidencia la existencia de capacidades técnicas competitivas a nivel internacional.

En este sentido, la presencia de empresas multinacionales en el país constituye un indicador significativo del potencial local. Entre ellas se destacan Allegro Microsystems y Marvell Technology, ambas con centros de diseño de circuitos integrados en Argentina.

Allegro Microsystems [11] mantiene desde hace aproximadamente veinticinco años un centro de diseño y testeo en la ciudad de Buenos

La radicación de estos centros genera efectos positivos en el ecosistema tecnológico nacional, tales como la transferencia de conocimiento

Asimismo, la radicación de estos centros genera efectos positivos en el ecosistema tecnológico nacional, tales como la transferencia de conocimiento, la formación de recursos humanos especializados, la vinculación con universidades y centros de investigación, y la creación de oportunidades laborales de alta calificación.

No obstante, el desarrollo de la microelectrónica en Argentina enfrenta desafíos importantes, entre ellos la necesidad de ampliar la masa crítica de profesionales formados en el área, fortalecer la articulación entre el sistema académico y el sector productivo, y generar políticas públicas que promuevan la inversión y la innovación.

Formación de recursos humanos: la iniciativa de la UBA

En este contexto, la formación de profesionales especializados se presenta como un factor clave para consolidar y expandir las capacidades nacionales en microelectrónica. En línea con esta necesidad, la Universidad de Buenos Aires ha aprobado en marzo de 2026 la creación de la Carrera de Especialización en Microelectrónica [8].

La Universidad de Buenos Aires ha aprobado en marzo de 2026 la creación de la Carrera de Especialización en Microelectrónica

Esta propuesta académica de la Facultad de Ingeniería surge como respuesta a una demanda concreta del sector productivo y científico, y tiene como objetivo formar profesionales con competencias avanzadas en diseño, fabricación y validación de circuitos integrados. La carrera se apoya en una sólida tradición institucional en la formación de ingenieros electrónicos y en el desarrollo de actividades de investigación aplicada, que incluye una significativa produc-

ción de tesis de grado y de doctorado en el área [10, 11].

Desde el punto de vista curricular, la especialización abarca un amplio espectro de contenidos, incluyendo física de dispositivos, diseño analógico, digital y de señal mixta, verificación funcional y caracterización de sistemas integrados. Esta formación integral permite a los egresados desempeñarse en diferentes etapas del ciclo de vida de un circuito integrado, desde la concepción hasta su validación final.

Uno de los aspectos destacados de la propuesta es su modalidad a distancia, que aprovecha las tecnologías de la información y la comunicación para ampliar el acceso a la formación. Esta modalidad permite superar las limitaciones geográficas, facilitando la participación de estudiantes de distintas regiones del país, fomentando el desarrollo con perspectiva federal, e incluso del exterior, así como de profesionales que requieren compatibilizar sus estudios con actividades laborales.

Uno de los aspectos destacados de la propuesta es su modalidad a distancia

Además, la educación a distancia posibilita la integración de docentes y especialistas de diversos ámbitos, enriqueciendo el proceso formativo mediante la incorporación de experiencias variadas. La utilización de plataformas virtuales, recursos interactivos y herramientas de simulación profesionales contribuye a generar un entorno de aprendizaje dinámico y acorde a las características del campo disciplinar.

Una apuesta estratégica para el desarrollo del país

La creación de esta carrera no solo responde a una necesidad académica, sino que constituye una apuesta estratégica para el desarrollo del país. La disponibilidad de recursos humanos altamente capacitados es un requisito indispensable para atraer inversiones, fortalecer la industria local y promover la innovación tecnológica. En este marco, cabe destacar también la labor de la Escuela Argentina de Microelectrónica, Tecnología y Aplicaciones (EAMTA), que desde 2006 contribuye a la consolidación de un ecosistema relacionado con la microelectrónica [9].

Articulación entre academia, industria y regulación profesional

El desarrollo de la microelectrónica requiere una articulación efectiva entre distintos actores: universidades, centros de investigación, empresas y organismos de regulación profesional. En este entramado, instituciones como el COPITEC cumplen un rol fundamental.

Instituciones como el COPITEC cumplen un rol fundamental

Como organismo responsable de la matrícula profesional, COPITEC no solo garantiza el ejercicio ético y competente de la profesión, sino que también contribuye a la jerarquización de las disciplinas tecnológicas. En un campo tan dinámico y complejo como la microelectrónica, la actualización permanente de conocimientos y el cumplimiento de estándares profesionales resultan esenciales.

Asimismo, el Consejo puede desempeñar un papel activo en la promoción de nuevas áreas de incumbencia, en la difusión de oportunidades de formación y en la generación de espacios de vinculación entre profesionales, academia e industria. Estas acciones son clave para consolidar

un ecosistema que favorezca el desarrollo tecnológico y la innovación.

Conclusiones

La microelectrónica se ha consolidado como una disciplina estratégica a nivel global, con un impacto decisivo en la economía, la seguridad y el desarrollo tecnológico de los países. Su carácter transversal y su capacidad de habilitar nuevas tecnologías la convierten en un área de interés prioritario para gobiernos, empresas y sistemas científicos.

Argentina cuenta con capacidades relevantes en este campo, particularmente en el diseño de circuitos integrados, y con la presencia de empresas internacionales que validan la calidad de sus recursos humanos. A su vez, la historia de la División Electrónica de FATE demuestra que el país tiene una trayectoria genuina en este sector, truncada no por limitaciones técnicas sino por decisiones políticas que hoy deben ser revisadas como parte de una estrategia de desarrollo soberano.

Sin embargo, el fortalecimiento de estas capacidades requiere una inversión sostenida en formación, investigación y articulación institucional. La creación de la Carrera de Especialización en Microelectrónica de la Universidad de Buenos Aires constituye un paso significativo en esta dirección, al contribuir a la formación de profesionales altamente calificados y a la consolidación de un ecosistema tecnológico nacional.

El fortalecimiento de estas capacidades requiere una inversión sostenida en formación, investigación y articulación institucional

En este escenario, el rol de instituciones como COPITEC resulta fundamental para acompañar estos procesos, promoviendo el ejercicio profesional responsable y fomentando el desarrollo de áreas estratégicas de la ingeniería.

El desafío hacia el futuro radica en aprovechar las oportunidades que ofrece la microelectrónica para impulsar el desarrollo económico, fortalecer la soberanía tecnológica y posicionar a Argentina como un actor relevante en la economía del conocimiento. ►

Sobre el autor

Mariano García Inza es profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, investigador adjunto del CONICET y de la Universidad Tecnológica Nacional. Es graduado de aquella primera institución tanto en sus estudios de grado como de posgrado: se recibió de ingeniero electrónico y posteriormente realizó su doctorado sobre sensores de radiación ionizante en tecnología CMOS. Actualmente investiga en diseño y caracterización de circuitos integrados para sensores en aplicaciones médicas, espaciales y ambientales. Además, dirige los posgrados en la carrera de Especialización en Microelectrónica y la maestría en Automatización Industrial.

Referencias

- [1] N. H. E. Weste y D. Harris, *CMOS VLSI Design: A Circuits and Systems Perspective*, Addison-Wesley, 2011.
- [2] OECD, *OECD Digital Economy Outlook 2020*, OECD Publishing, Paris, 2020.
- [3] OECD, *OECD Digital Economy Outlook 2023*, OECD Publishing, Paris, 2023.
- [4] OECD, *Measuring Trade in Value Added in Electronics*, OECD Publishing, Paris, 2019.
- [5] Semiconductor Industry Association, *2023 State of the U.S. Semiconductor Industry*, 2023.
- [6] D. Brown y K. van der Linden, *Fables: The Transformation of the Semiconductor Industry*, Springer, 2008.
- [7] La Nación, «La microelectrónica tiene futuro en la Argentina», *La Nación Tecnología*, 2018. [En línea]. Disponible en <https://www.lanacion.com.ar/tecnologia/la-microelectronica-tiene-futuro-en-la-argentina-nid2059621/>
- [8] Consejo Superior de la Universidad de Buenos Aires, «Resolución creación de la Carrera de Especialización en Microelectrónica», FIUBA Posgrados, 2026. [En línea]. Disponible en: <https://lse-posgrados.fi.uba.ar/posgrados/especializaciones/cem>
- [9] EAMTA, «Escuela Argentina de Microelectrónica, Tecnología y Aplicaciones», [En línea]. Disponible en <https://eamta.ar/>
- [10] Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, *Repositorio institucional de tesis*. [En línea]. Disponible en: <https://www.ingenieria.uba.ar/biblioteca/biblioteca-digital/repositorio-institucional>
- [11] Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, *Tesis de doctorado defendidas*. [En línea]. Disponible en <https://www.fi.uba.ar/investigacion/doctorado/tesis-defendidas>
- [12] *Allegro MicroSystems*. [En línea]. Disponible en <https://www.allegromicro.com>
- [13] *Marvell Technology*. [En línea]. Disponible en: <https://www.marvell.com/>
- [14] M. Surtayeva y F. Debandi, «Calculadoras Cifra: una experiencia pionera en diseño y producción electrónica en América Latina (Argentina, 1969-1976)», *América Latina en la Historia Económica*. [En línea]. Disponible en <https://alhe.mora.edu.mx/index.php/ALHE/article/view/1487>
- [15] *Carrera de Especialización en Microelectrónica*, sitio web del posgrado, informes, inscripción. [En línea]. Disponible en <https://lse-posgrados.fi.uba.ar/posgrados/especializaciones/cem>

Capítulo 4: Redes PAN basadas en Bluetooth

Bluetooth es una tecnología de comunicación inalámbrica de corto alcance diseñada para conectar y transferir datos entre dispositivos de forma rápida y sin necesidad de cables. Desde su creación, ha evolucionado y es ampliamente utilizada en múltiples sectores, incluyendo el de consumo, industrial, médico y automotriz. Este capítulo examina los usos actuales de Bluetooth, sus ventajas y desventajas, así como sus características técnicas y funcionales.

14 Marcelo Romero

Ingeniero en Electrónica
Universidad Tecnológica Nacional

Nota del editor



Coordenadas continúa con la publicación del libro *Comunicaciones inalámbricas*, sobre el estado del arte de tecnologías vinculadas a la matrícula del COPITEC. Los capítulos anteriores pueden encontrarse en las ediciones 121, 122 y 123 de esta revista.



Este capítulo proporciona una visión integral de la tecnología Bluetooth, abordando sus aplicaciones actuales, beneficios y limitaciones, y sus características técnicas. Bluetooth continúa siendo una de las tecnologías de comunicación inalámbrica más populares gracias a su flexibilidad y amplio soporte en dispositivos de consumo y comerciales.

¿Qué es Bluetooth?

Bluetooth es una tecnología de comunicación inalámbrica de corto alcance que permite la transmisión de datos entre dispositivos de manera rápida y sin cables. Fue desarrollada en 1994 por la empresa sueca Ericsson y ha evolucionado hasta convertirse en un estándar global para la conectividad entre dispositivos electrónicos.

Fue desarrollada en 1994 por la empresa sueca Ericsson

El símbolo de Bluetooth es una combinación de las runas nórdicas  (*hagall*) y  (*bjarkan*), las letras iniciales de Harald Bluetooth, un rey vikingo danés.

- »  (*hagall*) corresponde a la letra "H" en el alfabeto rúnico.
- »  (*bjarkan*) corresponde a la letra "B".

Harald "Bluetooth" Gormsson es conocido por haber unificado a las tribus danesas y noruegas en el siglo X. Al combinar estas dos runas, el símbolo de Bluetooth representa las iniciales "H" y "B" de Harald Bluetooth en una única figura. Este diseño es un homenaje tanto

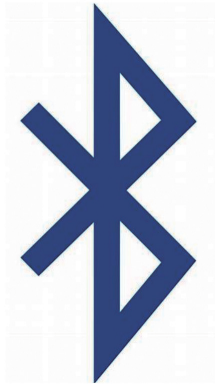


Figura 1. Símbolo representativo de Bluetooth

a su nombre como a su papel unificador, que se asocia con el propósito de Bluetooth de conectar diferentes dispositivos de forma inalámbrica y estandarizada.

Bluetooth se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, entre ellas:

- » Audio y entretenimiento: conexión de auriculares, altavoces y sistemas de audio a dispositivos móviles.
- » Dispositivos de entrada: conexión de teclados, ratones, y otros periféricos, a computadoras y tablets.
- » Dispositivos médicos: monitores de salud, como tensiómetros y glucómetros, que envían datos a teléfonos inteligentes.
- » Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés): conexión de sensores y dispositivos inteligentes en hogares y oficinas.
- » Automóviles: sistemas de manos libres para llamadas y transmisión de música en los sistemas de infoentretenimiento.

Permite la comunicación entre dispositivos sin la necesidad de cables

Ventajas:

- » Conectividad sin cables: permite la comunicación entre dispositivos sin la necesidad de cables, ofreciendo mayor comodidad y flexibilidad.
- » Bajo consumo de energía: especialmente en la versión BLE (Bluetooth de baja energía, por sus siglas en inglés), lo que permite su uso en dispositivos pequeños y con baterías de larga duración.
- » Interoperabilidad: Bluetooth es una tecnología estandarizada, por lo que es compatible con una amplia variedad de dispositivos de diferentes fabricantes.

Aunque ha mejorado en versiones recientes, la velocidad de transferencia es limitada

Desventajas:

- » Alcance limitado: Bluetooth está diseñado para funcionar en un rango de diez a cien metros, lo que limita su uso en comparación con otras tecnologías inalámbricas.
- » Velocidad de transferencia: aunque ha mejorado en versiones recientes, la velocidad de transferencia es limitada en comparación con wifi.
- » Seguridad: aunque tiene métodos de seguridad, Bluetooth puede ser susceptible a ataques de emparejamiento y otras vulnerabilidades, si no se configura correctamente.

Introducción al funcionamiento de Bluetooth

En forma introductoria, diremos que Bluetooth opera en la banda de frecuencia ISM (por *Industrial, Scientific and Medical*, no licenciadas) de 2,4 gigahertz, una frecuencia libre, es decir, que no requiere solicitar licencia para utilizarse, empleada también por otras tecnologías inalámbricas.

Bluetooth utiliza una técnica llamada "salto de frecuencia" (*frequency hopping*) con modulación GFSK

Para minimizar interferencias con otros dispositivos que usan la misma banda, Bluetooth utiliza una técnica llamada "salto de frecuencia" (*frequency hopping*) con modulación GFSK ('modulación por desplazamiento de frecuencia gaussiana', por sus siglas en inglés). Con este método, y para evitar interferencias y mejorar la confiabilidad de la conexión, Bluetooth cambia de canal hasta 1.600 veces por segundo, seleccionando uno de setenta y nueve canales disponibles, cada uno con un ancho de un megahertz.

La comunicación en Bluetooth se organiza en redes llamadas "piconets", en las que un dispositivo actúa como maestro y puede conectarse con hasta siete dispositivos esclavos. Esto permite que se formen pequeñas redes locales en las que el dispositivo maestro gestiona la comunicación.

Principios de la modulación GFSK

Bluetooth transmite datos con la modulación GFSK, lo que permite que la señal sea robusta y consuma poca energía. GFSK es una técnica de modulación digital que se utiliza en sistemas de comunicación en otros estándares de corto alcance aparte de Bluetooth. Es una variante de la modulación FSK ('modulación por frecuencia de desplazamiento', por sus siglas en inglés), en la cual la señal de frecuencia cambia para representar datos digitales (ceros y unos), pero con un filtrado gaussiano que suaviza la transición entre las frecuencias. Esto reduce las interferencias y mejora la eficiencia espectral de la transmisión.

¿Cómo funciona GFSK? Los datos binarios se representan como cambios de frecuencia:

- » Un bit 1 (también conocido como "marca") puede representarse por una frecuencia más alta que la frecuencia portadora.
- » Un bit 0 (o "espacio") puede representarse por una frecuencia más baja que la frecuencia portadora.

La frecuencia de la señal cambia dependiendo de si el bit transmitido es un uno o un cero. Sin embargo, a diferencia de FSK simple, GFSK utiliza un filtro gaussiano para suavizar las transiciones entre frecuencias, minimizando la interferencia y el ensanchamiento de banda.

GFSK utiliza un filtro gaussiano para suavizar las transiciones entre frecuencias, minimizando la interferencia y el ensanchamiento de banda

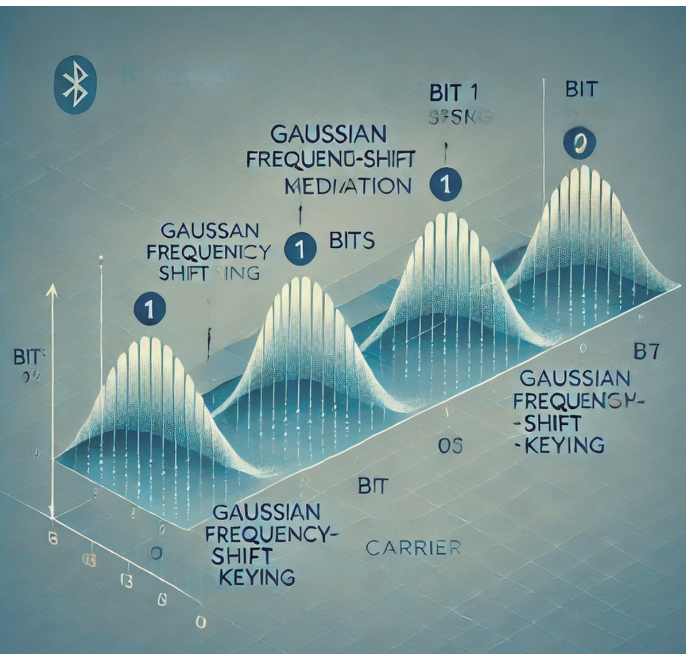


Figura 2. Los bits (unos y ceros) son representados como cambios de frecuencia con una transición suave debido al filtrado gaussiano.

Filtro gaussiano:

- » Antes de modular la señal, los datos binarios pasan por un filtro gaussiano, que reduce los cambios abruptos de frecuencia.
- » Este filtro tiene la función de "suavizar" los datos, limitando el ancho de banda de la señal modulada y mejorando la eficiencia espectral.
- » Al suavizar los cambios de frecuencia, el filtro reduce la cantidad de interferencias entre los canales adyacentes, lo cual es ideal para sistemas de comunicación de corto alcance como Bluetooth.

Cambio de frecuencia:

- » Después del filtrado gaussiano, la señal modulada utiliza dos frecuencias para representar los bits.

- » Estas frecuencias cambian de acuerdo al bit transmitido (uno o cero), pero la transición es gradual debido al filtro gaussiano.

GFSK permite un ancho de banda controlado debido al efecto del filtro, lo cual es útil en aplicaciones que requieren comunicación eficiente en términos de ancho de banda, como Bluetooth. El control del ancho de banda también reduce la probabilidad de interferencia con otras señales cercanas.

Ventajas de GFSK:

- » Eficiencia espectral: gracias al filtrado gaussiano, GFSK utiliza menos ancho de banda que FSK simple, lo cual permite una mayor cantidad de canales en el mismo rango de frecuencia.
- » Reducción de interferencia: al suavizar las transiciones de frecuencia, GFSK minimiza las interferencias con otras señales cercanas.
- » Mayor estabilidad en transmisiones inalámbricas: debido a la naturaleza suave de la señal modulada, GFSK es menos susceptible a distorsiones causadas por factores ambientales, lo cual es ventajoso en aplicaciones móviles.

Supongamos que queremos transmitir una secuencia de bits como "1010". En GFSK, sería como sigue:

- » Bit 1: se modula con una frecuencia mayor a la portadora.
- » Bit 0: se modula con una frecuencia menor a la portadora.
- » Suavizado gaussiano: la señal pasa por el filtro gaussiano antes de modularse, reduciendo las variaciones bruscas entre unos y ceros, lo cual suaviza el cambio de frecuencia.

GFSK se utiliza en tecnologías de transmisión inalámbrica de corto alcance como a) Bluetooth clásico, para transmitir datos en la banda de 2,4 GHz, manteniendo la eficiencia y reduciendo interferencias; b) RFID y

NFC, tecnologías de identificación por radiofrecuencia también usan GFSK para mejorar la estabilidad de la transmisión.

En pocas palabras, la modulación GFSK representa los datos digitales mediante cambios en la frecuencia portadora, pero con un filtrado gaussiano que suaviza las transiciones. Esto permite que sea eficiente en ancho de banda, reduciendo interferencias y mejorando la estabilidad en comunicaciones de corto alcance, haciéndola ideal para aplicaciones como Bluetooth.

Proceso de conexión

La configuración de Bluetooth incluye ajustar el modo de visibilidad del dispositivo (público u oculto), seleccionar los dispositivos emparejados y configurar las preferencias de conexión automática. La conexión Bluetooth sigue un proceso de sincronización y emparejamiento (*pairing*). Cuando dos dispositivos desean conectarse, deben sincronizar sus frecuencias y compartir claves de emparejamiento para establecer una conexión segura.

- » Emparejamiento: los dispositivos intercambian claves y autorizaciones.
- » Establecimiento de enlace: una vez emparejados, pueden comenzar a intercambiar datos.

La conexión Bluetooth sigue un proceso de sincronización y emparejamiento (*pairing*)

Escaneo

Un dispositivo Bluetooth puede escanear continuamente su entorno en busca de otros dispositivos gracias a un proceso llamado "modo de escaneo". Este modo permite al dispositivo Bluetooth buscar señales de otros dispositivos cercanos que estén en modo

de descubrimiento o que hayan sido previamente emparejados. En el modo de escaneo, el dispositivo Bluetooth activa su receptor de radio en la banda de frecuencia de 2,4 GHz y escucha en varios canales específicos. El escaneo puede realizarse en intervalos configurados, lo cual permite que el dispositivo conserve energía cuando no se requiere un escaneo constante. El dispositivo "escucha" transmisiones en canales donde otros dispositivos puedan estar anunciándose para iniciar una conexión.

Descubrimiento

Los dispositivos que están en modo de descubrimiento envían paquetes de información llamados "paquetes de anuncios" en intervalos regulares. Estos paquetes contienen información básica, como el nombre del dispositivo, la clase, el tipo y otros datos que ayudan a identificarlo.

Emparejamiento

Emparejamiento, en el contexto de Bluetooth, es el proceso mediante el cual dos dispositivos establecen una conexión segura y confiable. Esto se realiza intercambiando información de autenticación y, en muchos casos, una clave de acceso o PIN. Una vez que los dispositivos están emparejados, pueden reconocer automáticamente la conexión en el futuro sin necesidad de repetir el proceso.

Ambos dispositivos deben estar en modo de descubrimiento o modo de visibilidad, permitiendo que cada uno sea detectado por el otro

¿Cómo funciona el proceso de emparejamiento?

- » Modo de descubrimiento: para iniciar el emparejamiento, ambos dispositivos deben estar en modo de descubrimiento o modo de visibilidad, permitiendo que cada uno sea detectado por el otro.
- » Solicitud de emparejamiento: uno de los dispositivos envía una solicitud de emparejamiento. El dispositivo receptor revisa la solicitud y puede aceptarla o rechazarla.
- » Intercambio de información de seguridad: los dispositivos Bluetooth intercambian información de autenticación para establecer una conexión segura. Dependiendo de la versión de Bluetooth, este intercambio puede incluir a) PIN (‘número de identificación personal, por sus siglas en inglés), un código de acceso que los usuarios ingresan para verificar la autenticidad del emparejamiento (este método es común en dispositivos Bluetooth clásicos); b) claves de enlace, en versiones más recientes, los dispositivos generan claves de enlace temporales que se utilizan para verificar la conexión; c) *just works*, *passkey entry* y *numeric comparison*, métodos de emparejamiento disponibles en Bluetooth Low Energy que facilitan la autenticación sin necesidad de PIN, o con una comparación de números que aparece en ambos dispositivos
- » Creación de la clave de emparejamiento: después de la autenticación, los dispositivos crean y almacenan una clave de emparejamiento o clave de enlace. Esta clave permite que la conexión futura sea automática, sin necesidad de repetir el proceso de autenticación.
- » Almacenamiento de información de emparejamiento: los dispositivos almacenan la información de emparejamiento (como la clave de enlace), lo que les permite conectarse automáticamente en el futuro sin repetir el proceso de emparejamiento.

Bluetooth ofrece distintos tipos de emparejamiento

Bluetooth ofrece distintos tipos de emparejamiento, cada uno diseñado para diferentes escenarios de seguridad:

- » Emparejamiento clásico: utiliza un PIN de cuatro o más dígitos. Requiere que el usuario ingrese el PIN en uno o ambos dispositivos para autenticar la conexión.
- » Emparejamiento BLE: incluye métodos como *just works* (no requiere código, útil para dispositivos sin pantalla o teclado), *passkey entry* (el usuario introduce un código en uno o ambos dispositivos), *numeric comparison* (los dispositivos muestran un número en sus pantallas, que el usuario confirma si coincide).

El emparejamiento asegura la autenticación y el cifrado de la conexión. Esto se traduce en autenticación, porque solo dispositivos autorizados pueden conectarse, y cifrado, porque los datos intercambiados entre dispositivos están protegidos y no pueden ser leídos por terceros.

Ahora bien, ¿cuándo es necesario el emparejamiento? El emparejamiento es necesario para conexiones seguras y confiables, especialmente en dispositivos que manejan datos personales, como teléfonos, relojes inteligentes o dispositivos de audio. Sin embargo, en ciertos casos, como dispositivos BLE de bajo riesgo (sensores o balizas), el emparejamiento puede no ser obligatorio, facilitando la conexión rápida.

El emparejamiento es necesario para conexiones seguras y confiables

Los beneficios del emparejamiento son la conexión segura, porque se establece una conexión segura y encriptada; la reconexión automática, porque los dispositivos pueden reconectarse automáticamente en el futuro; la eficiencia, porque reduce el consumo de batería, ya que el emparejamiento permite conexiones rápidas sin repetir autenticación.

En resumen, el emparejamiento en Bluetooth es un proceso fundamental que permite a los dispositivos conectarse de forma segura y automática, haciendo que las conexiones futuras sean rápidas y cómodas para el usuario.

Filtrado de resultados

El dispositivo escaneando puede filtrar los dispositivos detectados en función de ciertos criterios, como nombre, clase y capacidades, lo cual es útil para encontrar dispositivos específicos o restringir la conexión a ciertos tipos de dispositivos.

Una vez que el dispositivo escaneador detecta un dispositivo en el modo de descubrimiento, puede intentar iniciar una conexión de emparejamiento, si lo requiere. Para dispositivos que ya han sido emparejados anteriormente, la conexión puede ser automática sin necesidad de estar en modo de descubrimiento.

Respecto del consumo de energía, en Bluetooth clásico, el escaneo continuo exige más debido al uso de múltiples canales y la constante monitorización. Este modo de escaneo continuo permite a los dispositivos mantener su conectividad, detectando conexiones nuevas o reconectándose con dispositivos previamente emparejados de manera eficiente y optimizada. Bluetooth Low Energy fue diseñado para minimizar el consumo de energía. En BLE, el escaneo se realiza en intervalos breves y utiliza solo tres canales de cuarenta, lo cual reduce la cantidad de energía usada durante el escaneo. Para reducir el consumo de batería, los dispositivos Bluetooth alternan entre escaneos de alta frecuencia y periodos de descanso. Esto permite al dispositivo "despertarse" sólo en ciertos momentos para escanear y luego entrar en un estado de bajo consumo hasta el siguiente ciclo de escaneo.

Una vez establecida la conexión y configurado el puerto, los datos pueden enviarse y recibirse. Bluetooth permite la transmisión de datos en tiempo real o en modo asíncrono, según el perfil de comunicación. ▶

En BLE, el escaneo se realiza en intervalos breves y utiliza solo tres canales

Poné tu **matrícula al día** en pasos simples

Mantener tu matrícula activa es clave para el ejercicio profesional. Hoy podés hacerlo de forma rápida, segura y con múltiples opciones de pago.

Si aún no abonaste tu matrícula, te invitamos a regularizarla a la brevedad para mantener tu habilitación profesional al día. Las opciones de pago disponibles, a continuación.

Pago online (recomendado)

Podés abonar directamente desde la plataforma web del COPITEC:

- » Ingresar al enlace <https://ck.copitec.org.ar/>
- » Indicar número de matrícula o DNI (sin puntos)
- » Seguir las instrucciones del sistema

Si surge algún inconveniente, escribir a:

matricula@copitec.org.ar

Medios disponibles: tarjetas de crédito y débito, transferencia, código QR, y otras.

Pago presencial

También podés acercarte a la sede del COPITEC:
Perú 562, de 10 a 16 h

Medios habilitados: tarjetas de crédito y débito, y QR.

Transferencia bancaria

Podés realizar el pago y luego enviar el comprobante.

Datos:

- » Banco Galicia (Sucursal 4)
- » CBU: 0070004720000018042573
- » Alias: RADIO.PC.TV
- » CUIT: 30-58238084-4

Enviar comprobante a **transferencias@copitec.org.ar** indicando número de matrícula.

Depósito bancario

También disponible en Banco Galicia (Sucursal 4)

- » Cuenta N°: 0018042-5 004-7

Enviar comprobante a **transferencias@copitec.org.ar**.



El calzado y los efectos de la electricidad estática

No todo el calzado ofrecido como elemento de protección es capaz de cuidar la integridad de quien lo usa. Ante un escenario electrostático, no solo la resistencia importa, también la disipación. La normativa vigente aún discute la cuestión, y mientras tanto ya existe una tecnología que podría resolver el problema.

Jorge D. Roisman Osengar

Técnico en Electrónica (Telecomunicaciones)

Mat. T 717 COPITEC

COPITEC

copitec.org.ar

Los efectos, muchas veces desconocidos, de las descargas electrostáticas afectan a los materiales sintéticos, que proliferaron desde el siglo XX hasta la actualidad.

Existe una falsa sensación de que la electrostática no es un problema a tener en cuenta en la vida cotidiana o actividades recreativas, o que simplemente deriva de la utilización de diversos objetos propios del modernismo. Sin embargo, podemos describir muchísimas situaciones que pueden provocar efectos negativos, que van desde una leve sensación hasta llegar a poner en riesgo la integridad física de las personas.

Existen múltiples riesgos asociados a la electrostática:

- » riesgos por descargas eléctricas;
- » riesgo de incendio y de explosión en algunos entornos con atmósferas inflamables;
- » riesgos de traumatismos por movimientos reflejos bruscos cuando se recibe una descarga.

El cuerpo humano puede comportarse como un capacitor que acumula cargas eléctricas, y su descarga puede provocar incidentes o accidentes graves.

El cuerpo humano puede comportarse como un capacitor que acumula cargas eléctricas

Con el objetivo de protegerse de los efectos de la electricidad estática, se debería usar equipos de protección personal que eviten la acumulación de las cargas en el cuerpo. En el caso del calzado, este debería descargar la capacidad equivalente del cuerpo humano en un tiempo reducido, que no debería ser mayor de 0,5 segundos.

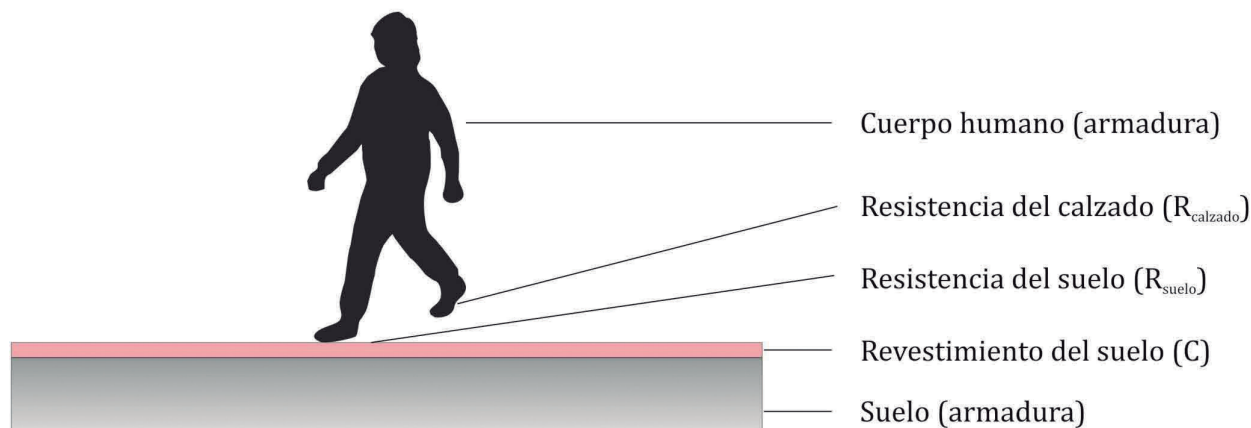


Figura 1. Los equipos de protección personal evitan la acumulación de cargas en el cuerpo.

Se ha difundido erróneamente el uso de calzado dieléctrico como método de protección

- En los años '80 y '90 del siglo pasado, el Comité Electrotécnico Internacional consideró que no era posible tener calzados que cumplieran simultáneamente dos condiciones: 1) dieléctrico para baja tensión hasta mil volts CA, y 2) disipativo de las cargas electrostáticas
- Se generaron tres tipos de calzado de acuerdo con la premisa de a): 1) conductivo, con resistencia de hasta cien mil ohms, para la industria electrónica; 2) disipativo, con un rango de resistencia entre cien mil ohms y mil megohms, y 3) calzado dieléctrico.

En las actividades industriales, se ha difundido erróneamente el uso de calzado dieléctrico como método de protección contra posibles descargas por contacto directo o indirecto con partes energizadas. En muchas actividades se requiere que el calzado utilizado sea capaz de dispersar las cargas eléctricas acumuladas en el cuerpo.

A nivel internacional, se crearon normas que pretenden brindar protección contra los fenómenos electrostáticos pero contienen errores de concepto:

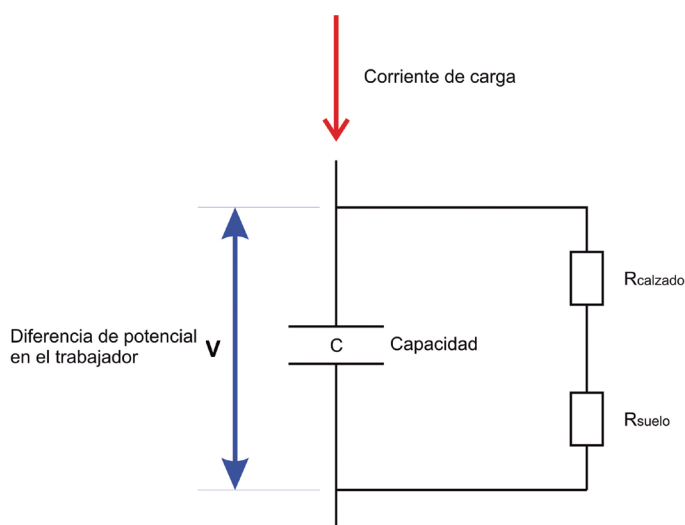
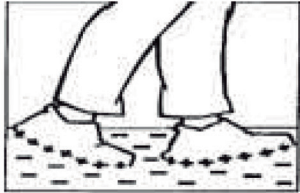


Figura 2. Muchas veces se requiere que el calzado pueda dispersar cargas eléctricas acumuladas en el cuerpo.

Personas aisladas de tierra se cargan:

Conducción (caminar, contacto)



Inducción (proximidad)

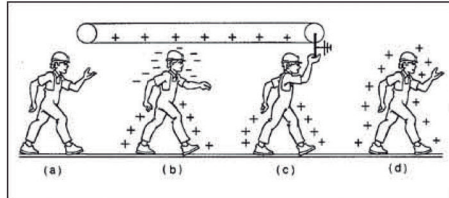


Figura 3. Personas aisladas de tierra se cargan a) por conducción (caminar, contacto); b) por inducción (proximidad)

- c. Las normas especificaron mal el rango del valor de la capacidad equivalente del cuerpo humano, fijándolo entre cien y trescientos picofaradios (100 a 300×10^{-12} F). Mediante ensayos actualizados se ha determinado que el valor real está comprendido entre dos y tres nanofaradios (2×10^{-9} F o 2.000×10^{-12} F), es decir, diez veces más.
- d. Las normas estiman que el cuerpo humano puede cargarse hasta diez mil volts, cuando se ha medido en laboratorio hasta treinta mil.
- e. Estos valores erróneos de las normas generan que se subestime la energía que puede acumular el cuerpo ($E = 1/2 V^2 C$).
- f. Al usar calzado de mucha resistencia, la constante de tiempo para la descarga es muy elevada y no se disipan las cargas en un tiempo corto: $T(\text{seg.}) = R (\Omega) \times C (F)$.

Normativa argentina

Mediante la Resolución 896/99 de la ex-Secretaría de Industria, Comercio y Minería, se establecieron los requisitos esenciales que deben cumplir los equipos, medios y elementos de protección personal comercializados en el país.

Los fabricantes, importadores, distribuidores, mayoristas y minoristas de los productos alcanzados por dicha Resolución deben certificar, o exigir la certificación según el caso, el cumplimiento de los requisitos esenciales de seguridad mediante una certificación de producto por marca de conformidad otorgada por un organismo reconocido por la Dirección Nacional de Comercio Interior. Dichos requisitos de seguridad se considerarán plenamente asegurados si se satisfacen las exigencias de seguridad establecidas en las normas elaboradas por el Instituto Argentino de Normalización IRAM, regionales Mercosur (NM) y europeas (EN), o internacionales ISO.

En Argentina, el IRAM creó la Norma IRAM 3610 para especificar el tipo de calzado de seguridad, pero no siguió las actualizaciones y modificaciones de las normas IEC al respecto. Por lo tanto, los fabricantes siguen usando esta norma y no garantizan que se cumplan las condiciones de seguridad necesarias.

Normativa internacional

El Comité Europeo de Normalización, en el año '89, partió de la idea equivocada de que es imposible obtener un material tanto conductivo como resistivo a la vez, y por ello define tres elementos de protección personal. Por ejemplo, en cuanto a los calzados, indicó uno totalmente conductivo, otro totalmente antiestático y, por último, el dieléctrico, que hoy en día fue eliminado como calzado de uso cotidiano.

Pero con respecto a un calzado antiestático, hace la salvedad de que es inestable eléctricamente debido a la capacidad que tiene el poliuretano de absorber humedad en cantidad, además de la inseguridad por el rango eléctrico establecido.

Resumen de normas para calzado de seguridad: el calzado de seguridad con propiedades conductoras se rige por la Norma EN ISO 20345:2011 (hasta cien mil ohms):

- » Calzado ESD: regulado bajo la norma EN 61340-4-3:2005. Rango de dos a treinta y cinco megohms.

- » Calzado antiestático: UNE 20347. Rango de cien mil ohms a cien megaohms. No aísla contra el riesgo eléctrico.
- » Calzado dieléctrico: regulado bajo la Norma EN 50321.

En cuanto a los elementos de protección personal, en 2012 inició un verdadero punto de inflexión en el sistema normativo: las normas UNE 20347 e ISO 20347 eliminaron el calzado dieléctrico como un elemento de protección personal de uso cotidiano y normalizaron un calzado aislante, tipo bota, según Norma 50321. Se estableció también una metodología de ensayo con mil volts CA o mil quinientos CC, debido a que esos son los valores del máximo potencial en baja tensión.

También en el seno de la Comisión Normalizadora de la Unión Europea, comenzó a circular un revisionismo sobre el calzado antiestático y se recomendó pasar a la denominación

de “electrostaticamente disipativo” con el argumento de que todos los materiales producen electricidad estática. Pero a pesar de las intenciones revisionistas, nada, hasta la fecha, ha cambiado en el rango del calzado. Más aún, se sigue sosteniendo que eléctricamente es inseguro.

A pesar de las intenciones revisionistas, nada, hasta la fecha, ha cambiado en el rango del calzado

En 2016, nuevamente una comisión del Parlamento Europeo agradeció los buenos servicios de la Res. 686/89 y la derogó por la 425/16. Pero nada cambió en los rangos, tan-

to del calzado antiestático como del conductivo, aunque sí se actualizó el contenido para comercializar los elementos de protección personal en la Unión Europea.

En la norma de la IEC, el rango mínimo pasó de setecientos cincuenta kilohms a dos megaohms, quedando establecido un rango de dos a treinta y cinco megaohms. Como puede deducirse, son cambios plausibles, puesto que este calzado es bien seguro para trabajos con tensión de línea de ciento diez volts. En el calzado de las normas ISO UNE 20347, se aceptó formalmente el nuevo calificativo de “electrostaticamente disipativo” y se redujo sustancialmente el límite superior de resistencia, que pasó de mil a cien megaohms, quedando entonces un rango de cien mil ohms a cien megaohms.

Estaríamos, entonces, frente a un calzado que contempla el cuidado de las instalaciones, pero que no protege al trabajador, puesto que es más que evidente que el límite inferior de resistencia, que es justo lo que debe garantizar seguridad eléctrica del trabajador, es extremadamente bajo. En Estados Unidos, el 13 de junio de 2022, la comisión de Calzado F13 de la ASTM se reunió para tratar dos rangos de resistencias muy diferentes, para dos tipos de calzados muy diferentes y sin tener muy en claro esta distinción debido al desconcierto que aún existe: con ninguno de los rangos antes mencionados se le brinda a la persona la seguridad

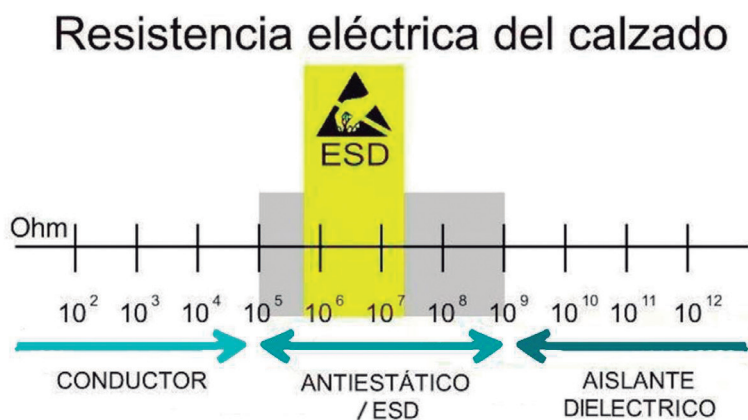


Figura 4. Resistencia eléctrica del calzado

integral necesaria en simultaneidad y en el mismo calzado. Pero lo más significativo es que en esa reunión se dio un paso en la dirección correcta, evidenciado por el debate y el ajuste para brindar mayor seguridad, aunque, hasta la fecha, no se ha emitido una resolución definitiva.

Un calzado que contempla el cuidado de las instalaciones, pero que no protege al trabajador

Modificaciones en la normativa argentina

Año 2025: las autoridades de la Secretaría de Comercio decidieron modificar la antigua reglamentación y contemplar la solución en simultáneo de distintos riesgos. Se presentó un segundo expediente que reafirmaba el anterior y hacía hincapié en la necesidad de definir claramente los criterios en cuanto a qué se debe entender y contemplar sobre los riesgos eléctricos en el ámbito laboral, puntualmente en el ámbito del calzado.

Se derogó la Res. 896/99 y se generó un nuevo reglamento, que publicó la Secretaría de Comercio de la República Argentina bajo el número

18/2025. Asimismo, se le dio intervención a IRAM para normalizar dicho reglamento.

Riesgos inherentes a las descargas electrostáticas

La capacidad del cuerpo humano no debería calcularse más en ciento cincuenta picofaradios sino en dos nanofaradios



https://www.boletinoficial.gob.ar/#/DetalleNorma/321816/QR



Que, en ese sentido, el proyecto normativo impulsado desde la citada Dirección Nacional prevé una facilitación de los procedimientos de evaluación de la conformidad y el uso de la infraestructura de calidad internacional, asimismo, se adecua el reglamento técnico al régimen establecido en MARCO GENERAL DE EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD aplicable a los reglamentos técnicos dictados en el ámbito de la SECRETARÍA DE INDUSTRIA Y COMERCIO, que fuera aprobado por la Resolución N° 237/24 de la SECRETARÍA DE INDUSTRIA Y COMERCIO.

Que, en razón de lo expuesto, deviene necesario derogar la Resolución N° 896/99 de la ex SECRETARÍA DE INDUSTRIA, COMERCIO Y MINERÍA y sus modificatorias y complementarias y dictar un nuevo Reglamento Técnico para los equipos, medios y elementos de protección personal que se comercialicen en el país.

Que ha tomado intervención el servicio jurídico competente.

Que la presente medida se dicta en el uso de las facultades conferidas por la Ley N° 24.240, los Decretos Nros. 274/19, y 50 de fecha 19 de diciembre de 2019 y sus modificatorios.

Por ello,

EL SECRETARIO DE INDUSTRIA Y COMERCIO

RESUELVE:

ARTÍCULO 1°.- OBJETO. Apruébase el Reglamento Técnico que establece los requisitos y características esenciales de calidad y seguridad, detallados en el Anexo I que como (IF-2025-13915132-APN-DNRT#MEC), forma parte integrante de la presente medida, que deberán cumplir los productos identificados como equipos, medios y elementos de protección personal que se comercialicen en el territorio de la REPÚBLICA ARGENTINA.

ARTÍCULO 2°.- ALCANCE. Las exigencias establecidas en esta resolución serán de aplicación a los productos que, junto a las normas técnicas correspondientes a cada uno de ellos, se encuentran detallados en el Anexo II, que como (IF-2025-1849851-APN-DNRT#MEC), que forma parte integrante de la presente resolución.

ARTÍCULO 3°.- FABRICANTES E IMPORTADORES. Los fabricantes e importadores de los productos detallados en el citado Anexo II deberán garantizar el cumplimiento de los requisitos y características dispuestos por la presente resolución de conformidad con lo establecido en el Anexo III, que como (IF-2025-13915235-APN-DNRT#MEC) que forma parte integrante de presente medida.

ARTÍCULO 4°.- DISTRIBUIDORES Y COMERCIALIZADORES. Los distribuidores y los comercializadores,

constitutivos para eliminar el peligro.

3.2.6. EPP destinados a servicios en atmósferas potencialmente explosivas

Los EPP destinados a ser usados en atmósferas potencialmente explosivas serán diseñados y fabricados de forma tal que no pueda producirse en ellos ningún arco o chispa de origen eléctrico, electrostático o causado por un golpe, que puedan inflamar una mezcla explosiva.

propiedades fotométricas y colorimétricas adecuadas.

3.2.14. EPP que proteja contra riesgos simultáneos

Cualquier EPP destinado a proteger al usuario contra varios riesgos que puedan surgir simultáneamente, se diseñará y fabricará para que responda, en particular, a los requisitos esenciales de salud y seguridad específicos de cada uno de estos riesgos.

3.3. Exigencias complementarias específicas de los riesgos a prevenir

Figura 5. Boletín oficial donde se anuncia la derogación del aRes. 896/99 y el dictado de una nueva reglamentación.



Figura 6. El episodio electrostático no termina en la chispa ni en la preocupación por si hay o no sustancias explosivas.

La capacidad del cuerpo humano no debería calcularse más en ciento cincuenta picofaradios sino en dos nanofaradios. Dicho límite cambia todos los valores mínimos de energía a la hora de calcular los EMI.

A la vez, vale aclarar que el episodio electrostático no termina en la chispa, y si hay o no sustancias explosivas o inflamables. La chispa es la parada intermedia después de una serie de sucesos concatenados. A partir de un suceso, comienzan los transitorios electromagnéticos, propagación del pico de tensión y chispas secundarias.

Los episodios son los que siguen:

- » Acumulación de cargas por fricción triboelectricidad (por aproximar el dedo a la tecla aparecen inducción y polarización).
- » Emisión de electrones.
- » Excitación de las moléculas de gas, ionización.
- » Avalancha de electrones.
- » Ruptura de la rigidez dieléctrica del aire.
- » Chispa.
- » Propagación del pico de tensión.
- » Transitorios electromagnéticos y de todos los efectos secundarios a partir del suceso primario: triboelectricidad.

Solución técnica propuesta

Se ha logrado transformar un calzado dieléctrico en dual utilizando la tecnología DIM

Se ha logrado transformar un calzado dieléctrico en dual utilizando la tecnología DIM ('dispositivo inteligente multipropósito') en su modo encapsulado, con la resistencia justa y debidamente calculada según la tensión de trabajo. El calzado resultante evita el shock eléctrico y electrostático con seguridad, tal como se requiere en la Directiva Legal 686/89 de la Unión Europea. Esta solución,

Normas actuales en uso	Tipo de calzado	Rango	Protección brindada
ESD EN 61340-5-1; ANSI/ESD S20.20.2007	ESD	100 kΩ-100 MΩ	No protegen al trabajador, tampoco el producto eléctrico.
UNE 20344/345	Antiestático	100 kΩ-1.000 MΩ	No protegen al trabajador, tampoco el producto eléctrico. Límite inferior muy bajo y límite superior muy alto. No descarga en tiempo y forma.
Áreas EPA (protegidas de electrostática) 61340	Para áreas EPA	750 kΩ-35 MΩ	Protege el producto eléctrico, pero difícilmente al trabajador.
Propuesta SEET para su dispositivo DIM	Multifunción según sea necesaria una respuesta resistiva o disipativa	10 MΩ-100 MΩ	Protege al trabajador y su ámbito de trabajo, cumpliendo con todas las normas existentes, descargando en tiempo y forma y protegiendo del shock eléctrico. Su comportamiento simultáneo brinda seguridad eléctrica y electrostática total.

Tabla 1. Comparativa de normas vigentes y su incidencia en cuanto a la funcionalidad eléctrica y electrostática de los calzados y las personas. Norma SEET.

28

que en principio parecería imposible de alcanzar por su antagonismo, es, sin embargo, una solución eficaz al problema, porque logra el rango deseado que garantiza un calzado dual.

El DIM es un componente para el calzado totalmente innovador diseñado para:

- » transformar cualquier calzado en un disipador de cargas eléctricas;
- » proteger contra descargas eléctricas accidentales hasta mil quinientos volts;
- » mantener una resistencia superficial en un rango ideal de diez millones de ohms, que aseguran una disipación de estática corporal en tiempo y forma, y a cien millones de ohms, que protegen a la persona de una descarga accidental de la red eléctrica.

Cumplimiento normativo del calzado DIM

- » Norma EN 61340-5-1 (UE): Requisitos para protección electrostática en calzado.
- » Norma ASTM F2413 (EE. UU.): Especificaciones para protección en calzado de seguridad.

Ensayos realizados:

- » Medición de resistencia superficial.
- » Pruebas de descarga y protección eléctrica.
- » Durabilidad y resistencia a condiciones ambientales

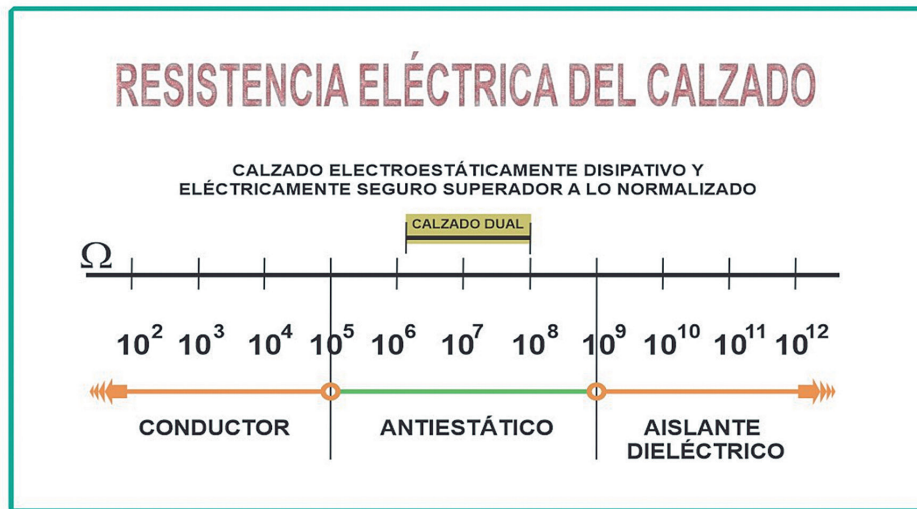


Figura 7. Resistencia eléctrica del calzado

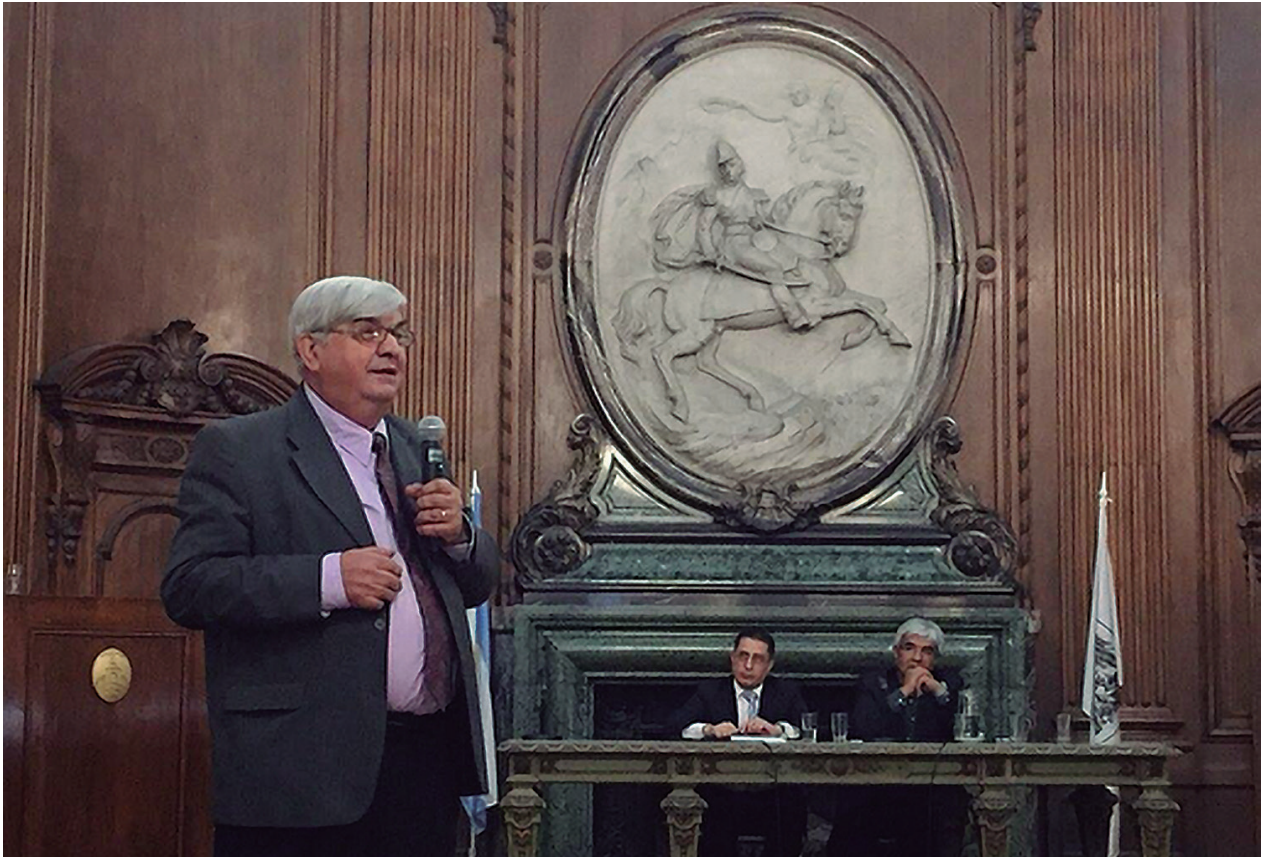


Figura 8. Antonio Tersigni, pionero en investigación sobre fenómenos electrostáticos.

Conclusiones

A nivel internacional, aún no se ha logrado un avance en las normativas para el uso de calzado que cumpla las condiciones de ser dieléctrico en baja tensión y disipativo de las cargas electrostáticas.

La tecnología existe y está en trámite de certificación en Estados Unidos: es la tecnología DIM.

La Secretaría de Comercio derogó la antigua normativa 896/99, reemplazándola por la Norma 18/2025, que habilita a IRAM a actualizar la antigua Norma IRAM 3610.

Hay empresas nacionales en condiciones de fabricar calzado de acuerdo a la tecnología DIM.

Hay empresas nacionales en condiciones de fabricar calzado de acuerdo a la tecnología DIM

Palabras finales

Quiero finalizar rindiendo un sentido homenaje al Ing. Antonio Tersigni, fallecido en febrero de 2025. Antonio fue pionero en la investigación sobre los fenómenos electrostáticos y sus consecuencias. Gracias a sus investigaciones se ha logrado desarrollar la tecnología DIM que permite convertir un calzado dieléctrico en un calzado dual, funcionando como dieléctrico en baja tensión y como disipativo para las cargas eléctricas.



Tu título te forma.
Tu matrícula te valida.

La **institución** te dio el título
COPITEC el derecho a la matrícula

**Si sos ingeniero/a, bioingeniero/a,
licenciado/a, analista o técnico/a
en telecomunicaciones, electrónica,
informática o áreas afines,**



te esperamos en tu consejo
www.copitec.org.ar



COPITEC

Consejo Profesional de Ingeniería de
Telecomunicaciones Electrónica y Computación