

Proyecciones

Volumen 13
Número 2
Octubre, 2015

Publicación de la Facultad Regional Buenos Aires

Rector
Ing. Héctor C. Brotto

Vice - Rector
Ing. Pablo Andrés Rosso

Decano
Ing. Guillermo Oliveto

Director
Lic. Juan Miguel Languasco, Facultad Regional Buenos Aires

Comité Editorial
Lic. Gladys Esperanza, Facultad Regional Buenos Aires
Dr. Fernando Gache, Facultad Regional Buenos Aires

Diseño y Diagramación
Marcela Laura Ferritto, Facultad Regional Buenos Aires

ISSN 1667-8400
(Versión impresa)

ISSN 1853-6352
(Versión en línea)

Registro de la
Propiedad
Intelectual
No. 5252697
(Versión impresa)

Registro de la
Propiedad
Intelectual
No. 5252696
(Versión en línea)

Propietario
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Buenos Aires

Medrano 951 (C1179AAQ)
Buenos Aires, República Argentina



Proyecciones

Volumen 13
Número 2
Octubre, 2015

Publicación de la Facultad Regional Buenos Aires

Consejo Editorial

Dr. Julio Cabero Almenara - Universidad de Sevilla, España

*Dr. Ricardo Armentano Feijoo - Universidad Tecnológica Nacional/
Universidad Favaloro, Argentina*

Dr. Daniel Bia Santana - Universidad de la República, Uruguay

Dra. Zulma Cataldi - Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

*Dra. María Cristina Donnamaría - Universidad Nacional de La Plata -
CONICET, Argentina*

*Dr. Miguel Ángel Laborde, Universidad de Buenos Aires, CONICET,
Argentina*

*Dr. Walter Edgardo Legnani - Universidad Tecnológica Nacional,
Argentina*

*Dr. Mario Gerardo Piattini Velthuis - Universidad de Castilla -
La Mancha, España*

*Dr. Eduardo Jaime Quel - Universidad Tecnológica Nacional -
CITEDEF, Argentina*

*Dra. Cecilia Verónica Sanz - Universidad Nacional de La Plata,
Argentina*

*Dr. Saverio Roberto Strangis - Cyclotop, Houston, Texas,
Estados Unidos*

*Dra. Lurdes Marlene Seide Froemming - Universidade Regional do
Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil*

*M.Sc. Ignacio Vélez Pareja - Pontificia Universidad Javeriana,
Colombia*



UTN.BA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES

Proyecciones

Proyecciones es una publicación semestral, destinada a la difusión de trabajos originales de investigación en el campo de la ingeniería, en todas sus ramas, de su enseñanza y de las ciencias conexas. Asimismo se publican trabajos originados en las tesis desarrolladas en el ámbito de las carreras de posgrado que se dictan en la Facultad Regional Buenos Aires. Eventualmente son aceptadas también obras de revisión en temas específicos.

Todos los trabajos recibidos son objeto de revisión por parte de evaluadores externos, árbitros, y del Comité Editorial, según la metodología descripta en las Instrucciones para la Presentación de Artículos.

Esta publicación cuenta también con una versión en línea, a la cual se puede acceder ingresando en el sitio <http://www.frba.utn.edu.ar/investigacion/proyecciones.html>

La información contenida en los artículos, así como las opiniones y los juicios vertidos, reflejan la creación y el pensamiento de los autores y no constituyen toma de posición o expresión por parte del Comité Editorial o de la Facultad Regional Buenos Aires.

Se permite la reproducción total o parcial de los artículos publicados en Proyecciones, con expresa mención de la fuente y autorización de la Dirección.

INDICE

- 9 Editorial**
- 11 Presentación**
- 13 Las instalaciones de irradiación de los reactores nucleares y su importancia en las aplicaciones del análisis por activación**
Isaac Marcos Cohen
- 21 Diseño, síntesis, fabricación y prueba de un *Hasher* SHA-256 en tecnología CMOS de 180 nm**
Fernando Aguirre, Octavio Alpago, Jerónimo Atencio, Alejandro Furfaro, Sebastián Pazos
- 37 Encapsulación de ácido fólico en matrices poliméricas diferentes**
Florencia Veloso, Patricia Della Rocca
- 47 Remoción de arsénico en agua mediante materiales de bajo costo y segura disposición final**
Jorge Martín Meichtry, Elizabeth Graciela De Seta, Fernando Damián Reina, Fernando Isaac Mugrabi y Esteban José Domingo
- 59 Desarrollo de un modelo teórico matemático y simulación del sistema electromecánico para la captación de la energía undimotriz**
Mario Pelissero, Pablo Alejandro Haim, Federico Muiño, Francisco Galia, Roberto Tula
- 69 Utilización de pozos misteriosos como herramienta para el fraude fiscal con máquinas tragamonedas electrónicas**
Nahuel González, Raúl Daneri, Alejandro P. Yaya, Sebastián Brie

Editorial

Es para nosotros un orgullo compartir con ustedes junto con la publicación de la revista *Proyecciones* de octubre, algunas de las importantísimas novedades que dan cuenta del crecimiento sostenido de nuestra Facultad.

En primer lugar me gustaría desatacar que ha sido aprobado por la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria (CONEAU) el Doctorado en Ingeniería Mención Tecnologías Químicas. Esta instancia cuaternaria tiene como objetivo formar profesionales con el máximo nivel de excelencia científico-tecnológico, para desarrollar investigación original en las temáticas específicas de Tecnología de Alimentos, Procesos Biotecnológicos, Tecnología de los Materiales, Radioquímica y Aplicaciones Nucleares y Estudios Medioambientales. Vale la pena recordar que este flamante Doctorado se desarrolla en el marco de nuestros cada vez más importantes posgrados, entre los que se destaca el Doctorado en Ingeniería – Mención Procesamiento de Señales e Imágenes, acreditado y Categorizado "A" por la CONEAU.

Por otra parte, también es un honor comentar que el Dr. Pablo O. Canziani, quien se encuentra trabajando en la Unidad de Investigación y Desarrollo de las Ingenierías (UIDI) de esta Facultad, ha sido designado miembro de la Academia Argentina de Ciencias del Ambiente.

Además, este año comenzó la tercera cohorte del Master en Optimización y Seguridad de Sistemas Industriales de la Université de Technologie de Troyes (UTT) de Francia en la UTN Buenos Aires. De esta manera, se afianza la segunda etapa de intercambio entre ambas instituciones, mientras que se avanza sobre la tercera: el Doctorado cotutelado UTN-UTT. Para concretarla nos visitaron el Prof. Ph.D Regis Leugelle, Director de Doctorados de dicha universidad y la Prof. Ph.D Mitra Fouladirad, Directora del Doctorado OSS. Durante su estadía se trató de compatibilizar nuestro Doctorado en Ingeniería con ese Doctorado de la UTT. Estamos a la espera de un cambio de reglamentación de la CONEAU respecto de los doctorados cotutelados, y confiamos en que en los próximos meses la nueva normativa permitirá la firma del acuerdo.

Finalmente, siempre es destacable señalar que con este ejemplar que Ud. tiene en sus manos, cerramos el año trece de nuestra revista *Proyecciones*, todo un logro en el marco de las revistas científicas argentinas dedicadas a la ingeniería. Esperamos que el año que viene sea todavía de mayores logros para esta revista, como así también para las demás tareas que lleva adelante la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional. Comprometemos todo nuestro esfuerzo por lograrlo.

Presentación

Este nuevo número de Proyecciones, el segundo de nuestro décimo tercer año consecutivo, comienza con el trabajo del Dr. Isaac Marcos Cohen titulado *“Las instalaciones de irradiación de los reactores nucleares y su importancia en las aplicaciones del análisis por activación”*. En él se evalúa críticamente la relación entre las instalaciones disponibles para irradiación en reactores nucleares y los requerimientos del análisis por activación como técnica analítica. Se discuten los aspectos referidos a diferentes alternativas de determinación, sensibilidad analítica e interferencias. Se presentan ejemplos experimentales de la aplicación del análisis por activación bajo esta concepción. A lo largo de sus páginas el autor demuestra la estrecha relación existente entre la factibilidad de su realización y las instalaciones de los reactores nucleares, incluyendo a las posiciones de irradiación, los sistemas de transferencia y los servicios auxiliares. Finalmente concluye en la necesidad de una compenetración cabal de los requerimientos del usuario por parte de diseñadores y operadores de reactores nucleares y, con respecto al analista, del conocimiento adecuado de las posibilidades que su propio reactor ofrece.

El segundo artículo *“Diseño, síntesis, fabricación y prueba de un Hasher SHA-256 en tecnología CMOS de 180 nm”* tiene como autores a F. Aguirre, O. Alpago, J. Atencio, A. Furfaro, S. Pazos, R. Simone y R. Suaya. Se trata de un trabajo realizado por el equipo de científicos del Departamento Computer Engineering de la Universidad de Utah en conjunto con investigadores del Laboratorio de Microelectrónica de la Facultad Regional Buenos Aires. En él se exponen las técnicas asincrónicas utilizadas para la síntesis de un Circuito Integrado (CI) que representa un módulo hasher del algoritmo SHA256. El mismo adquirió su popularidad con el auge de los BitCoins como criptomoneda. Cabe destacar que la importancia de dichas técnicas radica en que su funcionamiento no está atado al ritmo de un *clock*, sino que el circuito controla el flujo de información entre etapas lógicas mediante señalizaciones internas totalmente asincrónicas.

El trabajo escrito por F. Veloso y P. Della Rocca titulado *“Encapsulación de ácido fólico en matrices poliméricas diferentes”* muestra la caracterización de la harina de arroz que es empleada asiduamente por la población celíaca. Cabe señalar que en la actualidad, en nuestro país esa harina no es enriquecida con nutrientes ni vitaminas. El recurso de encapsulamiento de ácido fólico protege a dichos nutrientes de la oxidación, la humedad y la exposición a la luz, y sirve también para enmascarar sus aromas o sabores desagradables. Durante la etapa experimental se usaron dos métodos: secado por atomización o *spray* y gelificación iónica y se emplearon dos polímeros de recubrimiento: goma arábica y alginato de calcio, respectivamente.

El siguiente artículo se denomina *“Remoción de arsénico en agua mediante materiales de bajo costo y segura disposición final”* y fue elaborado por J. M. Meichtry, E. G. De Seta, F. D. Reina, F. I. Mugrabi y E. J. Domingo. La investigación consistió en el estudio de la capacidad de remoción de arsénico mediante adsorción y/o co-precipitación empleando materiales económicos como arcilla natural y hierro cerivalente comercial, microparticulado y como viruta. Los experimentos de remoción de As(III) y As(V) fueron acompañados por estudios de lixiviación del arsénico retenido en los residuos generados, y sometidos previamente a distintos tratamientos térmicos.

A continuación se presenta un trabajo elaborado en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la FRBA *“Desarrollo de un modelo teórico matemático y simulación del sistema electromecánico para la captación de la energía undimotriz”*. Como parte del proyecto vinculado con el aprovechamiento de la energía undimotriz se desarrolló un modelo teórico del dispositivo electromecánico de captación. Se presentan en este número de la revista el modelo y los resultados de la simulación computacional de su comportamiento. Esto permite predecir su desempeño en distintas condiciones climáticas o lugares de instalación. Los autores son M. Pelissero, P. A. Haim, F. Muñiño, F. Galia, R. Tula, G. Oliveto, A. J. Lifschitz, D. Gagnieri, E. Cirelli, M. Montoneri, G. De Vita, E. Heinke, E. Cirelli, T. Santino, M. Balbiani y S. Bernal.

El siguiente artículo elaborado por N. González, R. Daneri, A. P. Yaya y S. Brie se titula *“Utilización de pozos misteriosos como herramienta para el fraude fiscal con máquinas tragamonedas electrónicas”*. Los nuevos diseños y el avance tecnológico de las máquinas electrónicas de juegos de azar pueden generar oportunidades de fraude. Puede tratarse de fraudes fiscales por parte de los operadores o de abusos que los tengan como víctimas, y que son perpetrados por empleados inescrupulosos. En este trabajo se describen algunas de estas situaciones y se discuten posible innovaciones tecnológica a incorporar para eliminar o minimizar estos riesgos.

Esperamos que estos artículos contribuyan a incrementar el conocimiento y hacer avanzar sus fronteras para mejorar el desarrollo de nuestro país y el bienestar de la humanidad.

Las instalaciones de irradiación de los reactores nucleares y su importancia en las aplicaciones del análisis por activación

Isaac Marcos Cohen

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires,
Departamento Ingeniería Química, Grupo IDETQA, Medrano 951 (C1179AAQ)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

mcohen@frba.utn.edu.ar

Recibido el 30 de julio de 2015, aprobado el 10 de agosto de 2015

Resumen

En esta presentación se evalúa críticamente la relación entre las instalaciones disponibles para irradiación en reactores nucleares y los requerimientos del análisis por activación como técnica analítica. Se discuten los aspectos referidos a diferentes alternativas de determinación, sensibilidad analítica e interferencias. Se presentan algunos ejemplos experimentales de la aplicación del análisis por activación, bajo esta concepción.

PALABRAS CLAVE: ANÁLISIS POR ACTIVACIÓN – REACTORES NUCLEARES – INSTALACIONES DE IRRADIACIÓN

Abstract

The relationship between the facilities available for irradiation in nuclear reactors and the requirements of activation analysis as analytical technique are critically evaluated. The aspects referred to different alternatives for determination, analytical sensitivity and interferences are discussed. Some experimental examples of application of activation analysis, under this conception, are presented.

KEYWORDS: ACTIVATION ANALYSIS - NUCLEAR REACTORS – IRRADIATION FACILITIES

Introducción

Aproximadamente el 80 % de los trabajos publicados con respecto al desarrollo o la aplicación de métodos de análisis por activación están referidos a los reactores nucleares como fuente de irradiación. Esta cifra marca una tendencia cuya explicación puede encontrarse en dos aspectos básicos: disponibilidad de altos flujos de partículas, neutrones térmicos en este caso, y muy favorables secciones eficaces, con tales partículas, para la mayor parte de los elementos (La sección eficaz es un término que expresa la probabilidad de producción de una determinada reacción nuclear). A estas condiciones, sin duda importantes para el análisis por activación, se suma una componente adicional, tal vez decisiva, como lo es la posibilidad de irradiación simultánea de múltiples muestras, factor que permite el empleo del reactor para varios fines, principalmente la producción de radioisótopos.

Difícilmente pueda concebirse, sobre todo en los países en desarrollo, la construcción de un reactor nuclear destinado en forma excluyente, o siquiera preferencial, al análisis por activación. Sin embargo, es esta técnica la que podría requerir la utilización de todas las posiciones de irradiación del reactor, incluyendo varias de sus instalaciones auxiliares, en los diferentes problemas que involucra el análisis de matrices de diverso origen para la determinación de elementos con características nucleares muy disímiles en muchos casos.

Sobre la base de la experiencia adquirida por el autor en la utilización de varios reactores del país y de otros países latinoamericanos, el presente trabajo tiene como objetivo efectuar una evaluación crítica acerca de la necesidad de empleo de las diferentes instalaciones de irradiación de un reactor nuclear, en relación con la aplicación integral del análisis por activación.

Irradiación, sensibilidad analítica e interferencias

El cálculo primario de la sensibilidad analítica en análisis por activación toma como base la conocida fórmula que vincula, para una reacción directa, la actividad de un radionucleido expresado como (2) con el número de átomos de su precursor expresado como (1):

$$A_2(t) = N_1 \sigma_{12} \Phi (1 - e^{-\lambda_2 t_{irr}})$$

donde N es el número de átomos, σ es la sección eficaz para la reacción, Φ el flujo de partículas, λ la constante de desintegración del radioisótopo y t_{irr} el tiempo de irradiación.

De acuerdo con esta fórmula, resultaría conveniente efectuar la irradiación en alguna de las posiciones de mayor flujo posible, puesto que así se detectarían masas cada vez menores de los precursores. La aplicación de este concepto en forma lineal supone ignorar otro factor crítico, relacionado con las interferencias que se producen en forma simultánea con la activación del elemento de interés. Ejemplos de mecanismos a partir de los cuales pueden producirse interferencias de segundo orden son:

a) reacción principal: $3(n,\gamma)4$; interferencia: $1(n,\gamma)2$; (decaimiento); $3(n,\gamma)4$

b) reacción principal: $d(n,\gamma)e$; interferencia: $a(n,\gamma)b(n,\gamma)c$ (decaimiento) e

Los números y las letras simbolizan a los diferentes nucleidos involucrados, de los cuales los subrayados corresponderían a isótopos estables. Al solo efecto de diferenciar a los dos casos posibles, se reservará la denominación de interferencia de segundo orden a la secuencia descrita en a), mientras que la descripción de b) se caracterizará como interferencia por doble captura neutrónica.

Simbolizando con el subíndice p a todas las variables involucradas en la reacción principal y con i a las dependientes de la primera reacción de interferencia, se expresará el grado de interferencia del elemento i en términos de concentración aparente de p, elemento principal. Para la interferencia de segundo orden (Cohen, 1982) la ecuación aplicable es:

$$[p]_{ap}(t) = [i] \lambda_i \frac{\theta_i P A_p}{\theta_p P A_i} \sigma_i \Phi \left[\frac{1}{(\sigma_p \Phi - \lambda_i)(\sigma_p - \sigma_i) \Phi} + \frac{(\lambda_p - \sigma_p \Phi)}{(\lambda_p - \sigma_i \Phi)(\lambda_i - \sigma_i \Phi)(\sigma_p - \sigma_i) \Phi} \left(\frac{e^{-\sigma_i \Phi t_{irr}} - e^{-\lambda_p t_{irr}}}{e^{-\sigma_p \Phi t_{irr}} - e^{-\lambda_p t_{irr}}} \right) - \frac{(\lambda_p - \sigma_p \Phi)}{(\lambda_p - \lambda_i)(\sigma_p \Phi - \lambda_i)(\lambda_i - \sigma_i \Phi)} \left(\frac{e^{-\lambda_i t_{irr}} - e^{-\lambda_p t_{irr}}}{e^{-\sigma_p \Phi t_{irr}} - e^{-\lambda_p t_{irr}}} \right) \right]$$

donde $[p]_{ap}$ representa la concentración aparente del elemento p que induce la interferencia del elemento i, de concentración $[i]$; θ y PA representan a las abundancias isotópicas y los pesos atómicos, respectivamente.

La expresión equivalente para la interferencia por doble captura neutrónica (Cohen, 1982) es:

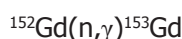
$$[p]_{ap} = [i] \frac{\lambda_{ii}(\lambda_p - \sigma_p \phi)}{\lambda_i + (\sigma_{ii} - \sigma_i) \phi} \frac{\theta_i PA_p \sigma_i \sigma_{ii} \phi}{\theta_p PA_i \sigma_p} \left\{ \frac{1}{(\lambda_p - \lambda_{ii})} \left[\frac{1}{\lambda_{ii} - (\lambda_i - \sigma_{ii} \phi)} \left[\frac{e^{-(\lambda_i + \sigma_i \phi) t_{irr}} - e^{-\lambda_{ii} t_{irr}}}{e^{-\sigma_p \phi t_{irr}} - e^{-\lambda_p t_{irr}}} \right] - \frac{1}{(\lambda_{ii} - \sigma_i \phi)} \left(\frac{e^{-\sigma_i \phi t_{irr}} - e^{-\lambda_{ii} t_{irr}}}{e^{-\sigma_p \phi t_{irr}} - e^{-\lambda_p t_{irr}}} \right) \right] \right] [1 - e^{-(\lambda_{ii} - \lambda_p) t_{irr}}] + \frac{1}{(\lambda_{ii} + \sigma_i \phi)(\lambda_p - \sigma_i \phi_{ii})} \left(\frac{e^{-\sigma_i \phi t_{irr}} - e^{-\lambda_p t_{irr}}}{e^{-\sigma_p \phi t_{irr}} - e^{-\lambda_p t_{irr}}} \right) - \frac{1}{[\lambda_p - (\lambda_i + \sigma_{ii} \phi)][\lambda_{ii} - (\lambda_i + \sigma_{ii} \phi)]} \left(\frac{e^{-(\lambda_i + \sigma_{ii} \phi) t_{irr}} - e^{-\lambda_p t_{irr}}}{e^{-\sigma_p \phi t_{irr}} - e^{-\lambda_p t_{irr}}} \right) + \frac{1}{(\lambda_p + \lambda_{ii})[\lambda_{ii} - (\lambda_i + \sigma_{ii} \phi)][\lambda_{ii} - \sigma_i \phi]} \left(\frac{e^{-\lambda_{ii} \phi t_{irr}} - e^{-\lambda_p t_{irr}}}{e^{-\sigma_p \phi t_{irr}} - e^{-\lambda_p t_{irr}}} \right) \right\}$$

El subíndice i se refiere a la primera reacción que conduce a la interferencia, mientras que ii está referido a la segunda reacción.

En ambos ejemplos la concentración aparente de p inducida en la muestra, obviamente errónea, es más significativa cuanto mayor sea el flujo neutrónico.

Un ejemplo de interferencia de segundo orden es la que genera el europio en la determinación de gadolinio, estudiada por Kramar (1980):

Reacción principal:



Interferencias:

- 1) $^{151}\text{Eu}(n,\gamma)^{152}\text{Eu}(\beta^-)^{152}\text{Gd}(n,\gamma)^{153}\text{Gd}$
- 2) $^{151}\text{Eu}(n,\gamma)^{152}\text{mEu}(\beta^-)^{152}\text{Gd}(n,\gamma)^{153}\text{Gd}$

Cohen y colaboradores (1976) estudiaron varios casos de interferencia por doble captura neutrónica. Entre ellos, uno de los más relevantes se da entre el oro y el platino:

Reacción principal:

- 1) $^{198}\text{Pt}(n,\gamma)^{199}\text{Pt}(\beta^-)^{199}\text{Au}$
- 2) $^{198}\text{Pt}(n,\gamma)^{199}\text{mPt}(\text{TI})^{199}\text{Pt}(\beta^-)^{199}\text{Au}$

Interferencia:



El tratamiento matemático en los ejemplos anteriores conduce a fórmulas más complejas que las formuladas anteriormente. El aspecto distintivo es que el grado de interferencia depende, también aquí, del flujo neutrónico. Para la interferencia de segundo orden, la actividad de ^{153}Gd inducida por europio, para 24 h de irradiación a un flujo térmico igual a 8×10^{13} n.cm⁻².s⁻¹, alcanza el 40 % de la actividad producida por gadolinio, para masas equivalentes. En cuanto a la interferencia por doble captura neutrónica, la concentración aparente de platino en oro, por medición de ^{199}Au , luego de 4 días de irradiación a un flujo de 10^{13} n.cm⁻².s⁻¹ y 5 días de decaimiento, es de 62 %.

Los casos mencionados, son quizás los de mayor importancia práctica, aunque no excluyen otros ejemplos también significativos.

Las posiciones de mayor flujo neutrónico son las más cercanas al núcleo del reactor, donde en general las relaciones entre las componentes rápida y térmica del espectro neutrónico son altas. Cuando se irradia en estas posiciones, la posibilidad de interferencias por reacciones neutrón-protón y neutrón-alfa, inducidas solamente por neutrones de mayor energía, dado que es necesario vencer un umbral energético para su generación, debe ser específicamente explorada. En forma simplificada, la concentración aparente que induce una interferencia i en un elemento principal p en estos casos es:

$$[p]_{ap} = [i] \frac{\theta_i PA_p}{\theta_p PA_i \phi_t} \frac{\bar{\sigma}_i \phi_r}{\sigma_p \phi_t + I_p \phi_{epi}}$$

Los términos conservan el mismo significado que en las ecuaciones anteriores; Φ_t , Φ_{epi} y ϕ_r refieren respectivamente a las componentes de neutrones térmicos (en equilibrio con el medio), epitérmicos (neutrones que perdieron parte de su energía por choques con las moléculas del moderador) y rápidos (neutrones que conservan la energía original debida a la fisión); I , integral de resonancia, expresa la probabilidad

de reacción en la zona epitérmica.

Varios ejemplos experimentales pueden ser consultados en un trabajo del autor (Cohen, 1991). Una revisión más extensa puede ser consultada en un artículo posterior (Cohen, 2014). Un trabajo más reciente (Cohen y colaboradores, 2015) describe una metodología para la determinación de manganeso a partir de la reacción $^{55}\text{Mn}(n,\gamma)^{56}\text{Mn}$ en concentrados de hierro, donde la interferencia de la reacción $^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$ es particularmente alta.

En razón de lo discutido en los párrafos precedentes, resulta evidente la necesidad de evaluar adecuadamente las interferencias que pueden presentarse según la posición de irradiación elegida en cada caso. En muchas ocasiones, a menos que puedan ser efectuadas las correcciones pertinentes, resulta aconsejable irradiar con flujos más bajos, inclusive en la columna térmica del reactor (Sekimoto y colaboradores,

2007) aun a pesar de la consiguiente pérdida de sensibilidad en la determinación.

Alternativas de determinación

En la práctica del análisis por activación, la necesidad de optimizar la relación entre la actividad del elemento de interés con respecto a la inducida sobre otros elementos presentes en la muestra, debe anteponerse a la idea de obtención de altas actividades. Este criterio encuentra justificación plena en el análisis por activación con neutrones epitérmicos, donde se emplean filtros de cadmio para absorber los neutrones térmicos. En esas condiciones, algunos elementos encuentran favorecida su determinación, aun cuando la actividad inducida es significativamente menor.

Sobre la base de un factor de ventaja, definido por Brune y Jirlow (1964) como el cociente entre las relaciones de cadmio de la interferencia

Nucleido	Sección eficaz (b)	Integral de resonancia (b)	Relación de cadmio	Factor de ventaja (^{24}Na)	Factor de ventaja (^{47}Ca)	Factor de ventaja (^{56}Mn)
^{24}Na	0,53	0,35	38,6	---	---	---
^{47}Ca	0,25	0,32	20,4	---	---	---
^{56}Mn	13,3	13,9	24,7	---	---	---
^{140}La	9,0	11,5	20,4	1,9	1,0	1,2
^{141}Ce	0,57	0,43	33,9	1,1	0,6	0,7
^{143}Ce	0,97	0,95	23,4	1,7	0,9	1,1
^{147}Nd	1,3	2,6	13,2	2,9	1,5	1,9
^{153}Sm	206	3141	2,6	14,7	7,7	9,4
$^{152\text{m}}\text{Eu}$	3300	3036	28,0	1,7	0,7	0,9
^{152}Eu	5900	3700	40,6	0,9	0,5	0,6
^{153}Gd	1100	3000	10,1	3,8	2,0	2,5
^{159}Gd	2,5	83,3	1,7	22,2	11,7	14,2
^{160}Tb	25,5	410	2,5	15,2	8,0	9,7
^{165}Dy	2700	810	83,7	0,5	0,24	0,3
^{166}Ho	63,0	636	3,5	11,1	5,9	7,2
^{171}Er	5,7	23,9	6,9	6,6	2,9	3,6
^{170}Tm	103	1410	2,8	13,7	7,3	8,8
^{169}Y	3470	25000	4,4	8,7	4,6	5,6
^{175}Y	65	38	43,4	0,9	0,5	0,6
$^{177\text{m}}\text{Lu}$	16,4	547	1,7	22,2	11,7	14,2
^{177}Lu	2100	1090	48,8	0,8	0,4	0,5

Tabla 1. Factores de ventaja de nucleidos producidos por los elementos de las tierras raras, con relación a sodio, calcio y manganeso

y del elemento de interés, es posible establecer la eventual conveniencia de emplear la activación exclusivamente con neutrones epitérmicos. Tal alternativa resultará más ventajosa cuanto mayor sea el factor de ventaja calculado. Los primeros trabajos se efectuaron sobre material geológico silicatado. El autor extendió su aplicación a otras matrices (Cohen, 1973; Gomez y Cohen, 1981).

La Tabla 1 muestra los factores de ventaja para radionucleidos producidos por activación de los elementos de las tierras raras, con respecto a ^{24}Na , ^{47}Ca y ^{56}Mn como interferencias principales, para una relación $\Phi_{\text{epi}}/\Phi_{\text{th}}$ igual a 0,035. Puede observarse que estos factores son favorables para una buena parte de los elementos investigados. Sobre esa base, se desarrolló un método para la determinación de tierras raras en fluoritas mediante análisis por activación con neutrones epitérmicos (Cohen, 1978).

No siempre es posible emplear las reacciones de captura neutrónica, (n,γ) , para el análisis por activación, pues las características de los productos podrían ser desfavorables. Las reacciones umbral, mencionadas anteriormente como interferencias, pueden servir como alternativas analíticas. Algunos ejemplos de interés pueden consultarse en los trabajos, ya citados,

del autor (1991 y 2014).

El empleo de flujos predominantemente térmicos, o irradiación con neutrones epitérmicos y rápidos, depende del requerimiento analítico, pero también, obviamente, de las posibilidades de irradiación. Las relaciones $\Phi_{\text{epi}}/\Phi_{\text{t}}$, $\Phi_{\text{r}}/\Phi_{\text{t}}$ y $\Phi_{\text{epi}}/\Phi_{\text{r}}$ son parámetros de importancia y, puesto que cada problema puede encontrar una solución distinta, la disponibilidad de posiciones de irradiación con características diferentes es una herramienta invaluable.

Como necesidad asociada a la utilización de neutrones epitérmicos y rápidos debe mencionarse la instalación de sistemas de transferencia de cápsulas irradiadas y celdas de apertura, en razón de que los filtros de cadmio empleados para absorber neutrones térmicos generan altas actividades y podrían implicar riesgos para el operador.

Las instalaciones del reactor y el análisis por activación con radionucleidos de periodo corto

El empleo de nucleidos de periodo de semidesintegración¹ corto implica en el análisis, como ventaja inmediata, la reducción del tiempo de operación. Más allá de este factor favorable,

Elemento	Radionucleido	Periodo
N	^{16}N	7,13 s
O	^{19}O	27,1 s
	^{16}N	7,13 s
F	^{20}F	11,0 s
	^{19}O	27,1 s
Mg	^{27}Mg	9,46 min
Al	^{28}Al	2,25 min
S	$^{37}\text{S}^*$	5,0 min
Cl	^{38}Cl	37,18 min
V	^{52}V	3,75 min
Rh	^{104}Rh	42 s
In	$^{116\text{m}2}\text{In}^{**}$	54 min
I	^{128}I	25,0 min

Tabla 2. Elementos que conducen a radionucleidos de periodo corto como única alternativa analítica

* Único emisor gamma

** Vía prácticamente excluyente

¹ Periodo de semidesintegración o periodo, es el tiempo en el cual una población de átomos radiactivos disminuye su número a la mitad.

Elemento	Radionucleido	Periodo (s)
Li	^8Li	0,84
O,N	^{16}N	7,13
Cl	$^{38\text{m}}\text{Cl}$	0,7
In	$^{116\text{m}2}\text{In}$	2,2
Er	^{167}Er	2,3
Hf	$^{177\text{m}}\text{Hf}$	1,1
Hf	^{178}Hf	4,0
W	$^{183\text{m}}\text{W}$	5,3
Au	$^{187\text{m}}\text{Au}$	7,8

Tabla 3. Nucleidos de interés analítico y periodo menor que 10 segundos

para varios elementos, que se indican en la Tabla 2, es la única vía aplicable.

El autor ha intervenido en numerosos trabajos destinados a la medición de radioisótopos de periodo corto, con fines analíticos o de caracterización de reacciones nucleares y productos. La nómina de nucleidos y sus periodos comprende: ^{19}O , 27,1 s (Aisenberg y colaboradores, 1971); ^{20}F , 11,0 s (Aisenberg y colaboradores, 1972); $^{116\text{m}2}\text{In}$, 54 min (Cohen, 1973); $^{34\text{m}}\text{Cl}$, 32,0 min (Cohen y colaboradores, 1987); ^{28}Al , 2,25 min (Furnari y Cohen, 1994; Arribére y colaboradores, 2000); ^{70}Ga , 21,15 min, y ^{74}Ga , 8,1 min (Cohen y colaboradores, 1996); ^{25}Na , 59,1 s, ^{27}Mg , 9,458 min, ^{29}Al , 6,56 min (Arribére y colaboradores, 2000); $^{77\text{m}}\text{Ge}$, 53 s (Kestelman y colaboradores, 2000); ^{66}Cu , 5,12 min, $^{68\text{m}}\text{Cu}$, 3,75 min, ^{63}Zn , 38,47 min, y ^{71}Zn , 2,45 min (Cohen y colaboradores, 2005); $^{75\text{m}}\text{Ge}$, 48 s (Dorval y colaboradores, 2006); ^{68}Cu , 31,1 s (Kestelman y colaboradores, 2007).

La experiencia operativa permite concluir que es factible la medición de radionucleidos con periodos del orden de 10 min o mayores aun cuando no se disponga de sistemas neumáticos de transferencia de muestras hacia y desde la posición de irradiación, pero que ellos resultan imprescindibles para periodos más cortos. Cabe señalar, en tal sentido, que los dos sistemas neumáticos de transferencia del reactor de investigación más importante de la Argentina (Reactor RA-3; Centro Atómico Ezeiza, Comisión Nacional de Energía Atómica) se encuentran no operables desde 1972. Tal situación representa una fuerte restricción a las posibilidades de aplicación del análisis

por activación (por ejemplo, con respecto a la determinación de aluminio y magnesio, componentes habituales de muestras geológicas).

El análisis por activación con periodos muy cortos (por ejemplo, del orden de unos pocos segundos) implica la necesidad de contar con sistemas de transferencia muy precisos y veloces, para asegurar el posicionamiento de las cápsulas de irradiación en el sitio seleccionado y su rápida recuperación. Adicionalmente, el sistema de medición debe encontrarse en el lugar de recepción de las muestras irradiadas. En ocasiones, se requiere la realización de irradiaciones y mediciones cíclicas, con el objeto de mejorar los límites de detección. En la Tabla 3 se indican algunos nucleidos de periodo corto de interés analítico, que pueden emplearse en la determinación elemental.

En resumen, para todo análisis que involucre la medición de radionucleidos de periodo corto, la extensión del tubo neumático y su destino final (cuarto de medición de bajo fondo radiactivo) son factores muchas veces determinantes en la definición de la viabilidad de un método. Puede ser necesario, además, contar con estaciones de recepción y procesamiento rápido de muestras, cuando estos métodos se combinan con activación por neutrones epitérmicos.

La utilización de haces de irradiación externos

Una de las modalidades más promisorias del análisis por activación es la determinación multielemental directa en muestras grandes,

en los casos en que no es posible tomar una fracción representativa para el trabajo analítico. Esta situación se da cuando la composición es no homogénea, o bien cuando la integridad del objeto debe ser preservada, como en las muestras de interés arqueológico. El tamaño de tales muestras impide su irradiación en el núcleo mismo del reactor, que implicaría además la generación de actividades inaceptablemente altas. Por tal razón, se utilizan haces de neutrones para su activación fuera del recinto mismo.

Ejemplos de aplicación de estos métodos pueden consultarse en los artículos de Bedregal y colaboradores (2009 y 2012). El autor formó parte del grupo de profesionales que llevó a cabo esos desarrollos, efectuados mediante el Contrato de Investigación 15224, celebrado con el Organismo Internacional de Energía Atómica. El contrato estaba destinado al desarrollo de métodos de análisis por activación de objetos arqueológicos enteros. Las irradiaciones se efectuaron a la salida de uno de los

tubos radiales del reactor nuclear de 10 MW del Centro Nuclear RACSO (Instituto Peruano de Energía Nuclear) empleando un dispositivo rotatorio diseñado para asegurar que muestra y estándar recibieran el mismo flujo integrado.

Conclusiones

La reseña presentada permite demostrar la estrecha relación existente entre la factibilidad de realización del análisis por activación, en sus diferentes formas, y las instalaciones de los reactores nucleares, incluyendo a las posiciones de irradiación, los sistemas de transferencia y los servicios auxiliares.

El examen pormenorizado conduce a una conclusión final: la necesidad de una compenetración cabal de los requerimientos del usuario, por parte de diseñadores y operadores de reactores nucleares y, con respecto al analista, del conocimiento adecuado de las posibilidades que su propio reactor ofrece.

Referencias

- AISENBERG, E. Y.; COHEN, I. M.; KOROB, R. O. y RUDELLI, M. D., (1971) II Congreso Argentino de Biología y Medicina Nuclear; San Martín de los Andes, 5 al 9 de octubre.
- AISENBERG, E. Y.; COHEN, I. M.; KOROB, R. O. y RUDELLI, M. D., (1972) Nuclear Activation Techniques in the Life Sciences 1972, Proceedings of a Symposium, p. 551; International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- ARRIBÉRE, M. A.; COHEN, I. M.; KESTELMAN, A. J. y RIBEIRO GUEVARA, S., (2000) J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles 244, 417.
- BEDREGAL, P.; MUNIVE, M.; MENDOZA, P.; REVILLA, A.; GAGO, J.; COHEN, I. M. y MONTOYA, E., (2009) Proyecciones 7, 1, 65.
- BEDREGAL, P.; MENDOZA, P.; COHEN, I. M.; BALTUANO, O. y MONTOYA, E., (2012) J. Radioanal. Nucl. Chem. 291, 37.
- BRUNE, O. y JIRLOW, K., (1964) Nukleonik 6, 242.
- COHEN, I. M., (1973) Radiochem. Radioanal. Letters 15, 379.
- COHEN, I. M.; KOROB, R. O.; MILÁ, M. I. y ROCCA, H. C., (1976) Informe CNEA No. 416.
- COHEN, I. M., (1978) XIV Sesiones Químicas Argentinas. Santa Fe, 16 al 20 de julio.
- COHEN, I. M., (1982) Informe CNEA NT 15/82.
- COHEN, I. M.; MAGNAVACCA, C. y BARÓ, G. B., (1987) J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles 112, 387.
- COHEN, I. M., (1991) J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles 148, 155.
- COHEN, I. M.; KESTELMAN, A. J.; FURNARI, J. C. y ARIBÉRE, M. A., (1996) J. Radioanal. Nucl. Chem, Letters 212, 353.
- COHEN, I. M.; RIBEIRO GUEVARA, S.; ARIBÉRE, M. A.; FORNACIARI ILJADICA, M. C.; KESTELMAN, A. J.; OHACO, R. A.; SEGOVIA, M. S. y YUNES, A. N., (2005) Radiochimica Acta 93, 543-546
- COHEN, I. M., (2014) Proyecciones 12, 2, 45.
- COHEN, I. M.; SEGOVIA, M. S. y SIRI, S., (2015) 14th International Conference on Modern Trends in Activation Analysis. Delft, Netherlands, 23-29 September. Enviado para su publicación en J. Radioanal. Nucl. Chem.
- DORVAL, E.; ARIBÉRE, M. A.; RIBEIRO GUEVARA, S.; KESTELMAN, A. J.; COHEN, I. M. OHACO, R. A.; SEGOVIA, M. S.; YUNES, A. N. y ARRONDO, M., (2006) J. Radional. Chem. Articles 270, 603.

FURNARI, J. C. y COHEN, I. M., (1994) Biological Trace Element Research 43-5, 503.
GOMEZ, C. D. y COHEN, I. M., (1981) Actas de la X Reunión Científica de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, p. 303.
KESTELMAN, A. J.; ARRIBÉRE, M. A.; COHEN, I. M. y FURNARI, J. C., (2000) Phys. Rev. C 61, 067304.
KESTELMAN, A. J.; RIBEIRO GUEVARA, S.; ARRIBÉRE, M. A. y COHEN, I. M., (2007) App. Rad. Isotopes 65, 872.
KRAMAR, U. (1980) Geochim.Cosmochim. Acta 44, 379.
SEKIMOTO, S.; KOBAYASHI, T.; TAKAMIYA, K. y; SHIBATA, S., (2007) Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences 8, No. 2, 113.

Diseño, síntesis, fabricación y prueba de un *Hasher* SHA-256 en tecnología CMOS de 180 nm

Fernando Aguirre, Octavio Alpago, Jerónimo Atencio, Alejandro Furfaro, Sebastián Pazos¹

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Electrónica, Medrano 951, (C1179AAQ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

faguirre@electron.frba.utn.edu.ar

Recibido el 30 de marzo de 2015, aprobado el 10 de junio de 2015

Resumen

Este reporte surge de un proyecto de cooperación con ingenieros y científicos del departamento de *Computer Engineering de la Universidad de Utah*, Estados Unidos y el Laboratorio de Microelectrónica de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional (FRBA-UTN). En el mismo se exponen las técnicas utilizadas para la síntesis de un Circuito Integrado (CI)² que representa un módulo hasher del algoritmo *Secure Hash Algorithm* (SHA-256) lo cual es una función criptográfica de 256 bits de longitud. Este algoritmo adquirió popularidad con el auge de los *BitCoins* como criptomonedas. Las técnicas asincrónicas son las técnicas metodológicas de diseño más prometedoras. En este trabajo se describe lo realizado en las áreas de lógica, síntesis, *layout*, *testing* y manufactura. Cabe destacar que un componente esencial de su síntesis física fue el desarrollo de un *kit* de Diseño Físico Interoperable (iPDK) para el cual se utilizaron las herramientas de diseño automático de *Synopsys®* y *Mentor Graphics®*. Por otra parte, la manufactura se realizó a través de MOSIS en un proceso de fabricación CMOS de 180 nm de 6 niveles de metal, provisto por IBM.

PALABRAS CLAVE: CIRCUITOS INTEGRADOS DIGITALES – SINCRÓNICO – ASINCRÓNICO – VERILOG – CMOS - iPDK

Abstract

This work describes the initial steps of a joint collaboration with engineers and scientists of the Computer Engineering Department of the University of Utah, USA. It presents the techniques used in the design and synthesis of an integrated digital circuit (IC). The target IC is an embedded SHA-256 hasher module, which became popular with the noticeable advance of BitCoins as crypto currencies. The asynchronous design methodology is one of the most promising methodologies of IC design. In this article we simply describe our work in the areas of logic and physical synthesis, testing and manufacturing. One essential component for physical synthesis was the creation and adaptation of an Interoperable Physical Design Kit (iPDK) for the Synopsys® CAD environment and Mentor Graphics®. Manufacturing was done through MOSIS, on a 180 nm CMOS process with 6 metal layers from IBM.

KEYWORDS: INTEGRATED DIGITAL CIRCUITS – SYNCHRONOUS – ASYNCHRONOUS – VERILOG – CMOS - iPDK

1 También han participado de la elaboración de este trabajo: Roberto Simone y Roberto Suaya.

2 Al final de este artículo se encuentra un glosario con todas las expresiones y sus acrónimos.

Introducción

En el Laboratorio de Microelectrónica de la FR-BA-UTN se estudia el análisis y desarrollo de circuitos integrados digitales y analógicos. Históricamente, sus primeros pasos se centraron en el diseño de circuitos digitales cuya evolución vertiginosa en las cinco últimas décadas, dio como resultado un crecimiento exponencial. Las dos componentes básicas que predominaron durante este lapso y en este área son la existencia de un *clock* maestro global que regula y sincroniza todas las comunicaciones y operaciones dentro del CI, y la metodología de diseño: *top-down*, seguido por una implementación *bottom-up*. Este último requerimiento simple en apariencia, es la llave del éxito frente al trabajo de diseñar circuitos integrados cada vez más complejos. El método permite esconder la complejidad del diseño al separar su funcionamiento en distintos niveles de abstracción. En cada uno de los cuales se examinan unos pocos objetos cuya descripción detallada está en un nivel inferior. A mayor abstracción menor detalle visible, ergo menor complejidad.

El uso de herramientas de diseño automático (DA) provistos por las empresas que desarrollan sistemas automáticos de diseño electrónico *Electronic Design Automation* (EDA) incorporan los dos conceptos formulados y ayudan a diseñar con éxito, circuitos integrados de alta complejidad. Otra virtud que introduce la tecnología de DA es la reutilización de componentes (es decir: el uso de un número limitado de primitivas en el diseño de distintas funcionalidades). Esto simplifica profundamente el proceso de diseño. El avance en la escala de integración permite que miles de millones de transistores coexistan en un solo CI, lo cual pone en evidencia el nivel alcanzado en los desarrollos tecnológicos y a su vez, plantea el desafío de desarrollar una metodología que permita disipar el calor concentrado en el mismo.

La energía consumida por los circuitos integrados de alta complejidad es de cientos de Watts por centímetro cuadrado. Si bien los requerimientos funcionales del CI no se alteran, se le exige una mayor funcionalidad (más transistores) y mayor *performance* para cada nueva generación de los mismos.

El Prof. Dr. Ken Stevens, Director del Departamento de *Computer Engineering* de la Univer-

sidad de Utah, ha desarrollado una alternativa metodológica para lograr dicho cometido que consiste en eliminar el *clock* en el método de diseño. Para resolver la comunicación³ dentro del CI se utiliza el tiempo de arribo de las señales a la entrada de un circuito lógico, sumada al tiempo de propagación de la señal por la lógica. Por lo tanto, el diseño debe preocuparse de asegurar la preservación de las relaciones temporales secuenciales dentro del CI. Este es el centro de la metodología del profesor, denominado "*Relative timing methodology*" y se distingue de otros trabajos en el área asincrónica (Stevens, 2003).

En conjunto con el Grupo de VLSI dirigido por el Prof. Stevens se tomó como punto de partida el diseño de un hasher *SHA-256*, popular en el mundo de los *BitCoins*, considerando la implementación de una versión sincrónica del mismo en una tecnología CMOS de 180 nm. La elección de este nodo tecnológico para comenzar la experiencia en el área de diseño y manufactura está guiada por la practicidad y la ausencia de complejidades inherentes a los procesos más avanzados y su disponibilidad sin costo alguno para diseños académicos. De allí que se proyectó trabajar con procesos de menor litografía para aumentar la velocidad de funcionamiento de los diseños y poder realizar comparaciones de rendimiento entre las técnicas sincrónicas y las asincrónicas en una misma tecnología (el profesor Stevens trabaja en un nodo 65 nm) y con arquitecturas comparables. Esta comparación de pros y contras de dos arquitecturas semejantes diferenciadas por el carácter sincrónico ó asincrónico de su implementación, es un área poco explorada en la literatura.

El equipo de Utah ha estado trabajando durante los dos últimos años entre otras cosas, en una versión asincrónica del hasher *SHA-256* y tiene hoy en día fabricado un CI en un proceso CMOS de 65 nm de muy alta *performance* y con un consumo eléctrico muy respetable.

El diseño que se describe en este trabajo en un proceso de 180 nm es distinto al diseño del equipo antes mencionado, más allá de la diferencia de *timing*. Cabe destacar que el diseño bajo análisis no copia a este trabajo, puesto que es una síntesis propia de la misma arquitectura, pero mantiene una funcionalidad equivalente a las del equipo de Utah. El trabajo ha

³ Función realizada por el *clock*

sido utilizado en sus diferentes instancias del desarrollo para familiarizarse con los innumerables problemas, nuevos para el equipo, que pueden presentarse durante el diseño de un CI digital. A futuro se proyecta avanzar de forma incremental: primero superar escollos básicos de diseño; luego, optimizar la implementación para avanzar sobre el área de metodología de *testing* y, posteriormente, implementar una arquitectura equivalente a las del equipo de Utah. Así se podrá realizar una comparación cuantitativa de rendimiento entre la versión asincrónica desarrollada por ellos y la desarrollada con la versión sincrónica, pero con idénticos procesos de fabricación. El objetivo para 2016 consiste en la implementación física de un CI sincrónico (del *hasher* SHA-256) que opere a la máxima frecuencia en 65 nm. Esto permitirá realizar una comparación válida entre las mencionadas metodologías sincrónicas y asincrónicas.

En el apartado siguiente se discuten las distintas técnicas utilizadas para el diseño del CI sincrónico, desde el nivel de comportamiento, pasando por la síntesis en silicio y la integración de este circuito adoptado como dispositivo de ensayo. Se inicia con una breve descripción del algoritmo *hasher* sintetizado y luego la proyección del circuito desde un diagrama en bloques. Con posterioridad, se describe funcionalmente en Verilog, para pasar a su síntesis y verificación las simulaciones de rendimiento y funcionamiento. Finalmente, se realiza la implementación en silicio y se efectúan técnicas de *testing*. Se cierra con las conclusiones y proyecciones a futuro sobre la continuidad de este trabajo.

Diseño de CI: Etapas analógica y digital – Flujo de diseño

El proceso de diseño de circuitos integrados digitales está organizado dentro de un flujo de diseño (*design-flow*). El mismo implica una secuencia de pasos genéricos que se reproducirán siempre, independientemente del circuito. Los mismos pueden resumirse en:

1. Diseño conceptual: definición de especificaciones, y establecimiento de los lineamientos generales del sistema.
2. Descripción de comportamiento: en circuitos digitales, el sistema se plantea mediante lenguajes de descripción de *Hardware* (Verilog, VHDL). Obtenido un primer diseño (código veri-

log) se somete a una iteración de simulaciones hasta obtener un sistema que cumpla con las especificaciones estipuladas.

3. Síntesis y *layout*: el código diseñado es procesado por el *software* especializado (*Synopsys IC Compiler®*, *Synopsys Design Compiler®*, *Synopsys VCS®*), que determinará las celdas básicas estándar con las que se lo implementará. Como paso siguiente, conociendo las celdas a utilizar y cómo conectarlas, el *software* realiza el diseño físico en silicio del sistema (*layout*).

4. *Design Rule Check (DRC)*, *Layout Vs. Schematic (LVS)* y *Parasitic Extraction (PEX)*: corresponden a la etapa de verificación, en la cual el *layout* obtenido es analizado en busca de violaciones de las reglas de diseño (DRC). A continuación se compara con el diseño esquemático asociado a cada celda estándar (LVS) y finalmente, se realiza una simulación considerando los componentes parásitos no deseados que aparecen en el diseño físico (PEX). Para esto se utilizan herramientas de *Mentor Graphics, Calibre Division* (Mentor Graphics, 2015). En el presente caso, para la extracción de parásitos se utilizan los útiles de *Synopsys*.

5. Iteraciones: en el caso de que alguno de los pasos 2 a 4 no cumpla con lo estipulado, se itera desde el paso 2 hasta conseguir las especificaciones propuestas.

El diseño que se propone en este trabajo es un bloque predominantemente digital. El mismo representa un circuito capaz de encriptar mensajes de longitud arbitraria empleando un código de encriptación previamente definido (SHA-256). Esta idea es utilizada en el estampado digital de documentos para otorgarles un alto nivel de seguridad (Massias, 1999) y da sustento a la moneda virtual que ha tomado importancia en los últimos tiempos: el *BitCoin*. Esta divisa auto-regulada se promociona como un mecanismo de transferencia monetaria segura entre personas sin la necesidad de la intervención de una institución financiera (Nakamoto, 2013). Dicha seguridad radica en que la única forma de quebrar el código es por fuerza bruta (es decir, probando todas las combinaciones posibles, hasta encontrar una que al ser encriptada, produzca un *hash* que reúna ciertos requisitos que varían con el tiempo). Por ende, los algoritmos de creación y validación

utilizados en la cadena de *BitCoin* deberán ser capaces de procesar un gran número de combinaciones por unidad de tiempo.

A continuación, se describen los bloques más significativos utilizados en el sistema: el núcleo de procesamiento (el cual se encarga de encriptar los mensajes), el oscilador que proporciona la frecuencia de reloj al sistema y la *Universal Asynchronous Receiver Transmitter* (UART) para comunicar el *chip* con el mundo exterior.

SHA-256: un Hasher Criptográfico de BitCoins

Un *hash*, o función *hash*, consiste en el mapeo de mensajes de longitudes arbitrarias a valores de n bits. Para que un *hash* sea considerado criptográfico, debe cumplir con la condición de que el mapeo sea unidireccional, de esta forma se requerirán 2^n operaciones para encontrar un mensaje que pueda ser encriptado al *hash* considerado. Por otro lado, se dice que un *hash* es resistente a colisiones si la obtención de un mismo resultado a partir de dos mensajes diferentes es computacionalmente inviable. Estas propiedades inherentes al algoritmo SHA-256 explican su amplia utilización en el firmado digital y la protección de contraseñas.

SHA-256 es una función criptográfica de 256 bits de longitud sin clave, también llamada *Manipulation Detection Code* (MDC). Para generar el *hash* de un mensaje de longitud arbitraria, éste debe ser llevado inicialmente a una longitud múltiplo de 512 bits, proceso denominado *padding* y luego llevado a bloques de mensaje $M^{(1)}, M^{(2)}, M^{(N)}$, pudiendo representar algebraicamente al *hash* $H^{(i)}$ del mensaje $M^{(i)}$ como en la expresión (1), donde C es la *función compresión* que responde a la representación en bloques de la Figura 1 y el signo $\oplus$ a la suma módulo 2^{32} . Las funciones lógicas realizadas en el diagrama en bloques son presentadas en las expresiones (1-7), donde *rot* representa la rotación de bits hacia la derecha y *sh* el desplazamiento lógico de bits en la misma dirección.

$$H^{(i)} = H^{(i-1)} + C_{M^{(i)}}(H^{(i-1)}) \quad (1)$$

$$Ch(x, y, z) = (x \cdot y) \oplus (\bar{x} \cdot z) \quad (2)$$

$$Maj(x, y, z) = (x \cdot y) \oplus (x \cdot z) \oplus (y \cdot z) \quad (3)$$

$$\sum_0(X) = rotR(X, 2) \oplus rotR(X, 13) \oplus rotR(X, 22) \quad (4)$$

$$\sum_1(X) = rotR(X, 6) \oplus rotR(X, 11) \oplus rotR(X, 25) \quad (5)$$

$$\sigma_0(X) = rotR(X, 7) \oplus rotR(X, 18) \oplus shR(X, 3) \quad (6)$$

$$\sigma_1(X) = rotR(X, 17) \oplus rotR(X, 19) \oplus shR(X, 10) \quad (7)$$

La función compresión es solo una parte del algoritmo del hasher, cuyo diagrama en bloques final puede apreciarse en la Figura 2 y está compuesto por la máquina de estados de la Figura 3 que gobierna todo el circuito y que se encarga de: contar 64 iteraciones, proveer señalización e inicializar los registros mediante una tabla de W_j valores constantes iniciales, complementada por un contador de 64 iteraciones.

Cabe destacar que cada registro es de 32 bits, tanto para la compresión como para la sección del mensaje y los datos se van trasladando a lo largo de las cadenas de registro de manera similar a una cola circular pero con puntos o taps en los cuales la información es modificada mediante las funciones lógicas (1-7). Una vez completado el ciclo, el resultado se obtiene sumando una constante al resultado de los registros *a-h*.

Diseño de oscilador en anillo digitalmente sintonizable

La necesidad de efectuar pruebas sobre el circuito bajo distintas condiciones de funcionamiento sugiere la posibilidad de establecer distintas frecuencias de *clock*. Una topología de oscilador muy usual en circuitos integrados es la del Oscilador en Anillo, que consiste en una cadena impar de inversores con su entrada conectada a su salida, como se muestra en la Figura 4. De esta forma, cada inversor introduce una demora en la propagación de la señal de tensión a la entrada del primer inversor, generando transiciones de alto a bajo y viceversa cuyo período de ocurrencia es directamente proporcional al número de inversores que componen la cadena. Esta topología se destaca por su sencillez pero tiene el inconveniente de que el período de la oscilación depende fuertemen-

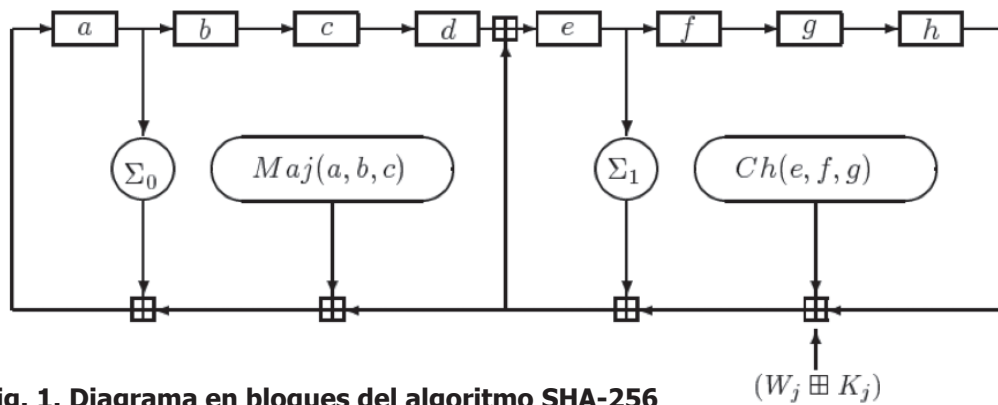


Fig. 1. Diagrama en bloques del algoritmo SHA-256

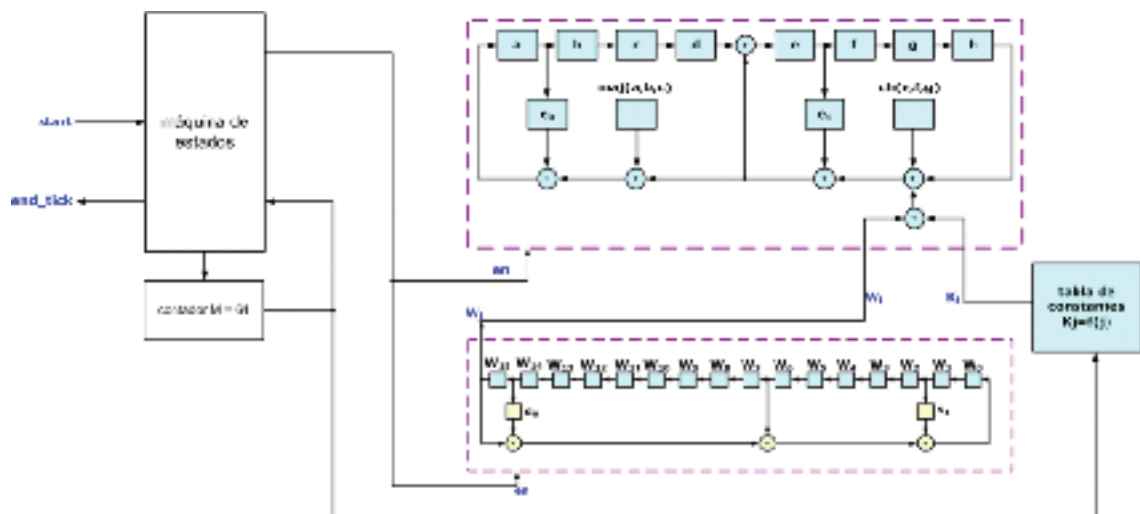


Fig. 2. Diagrama en bloques del SHA-256 completo

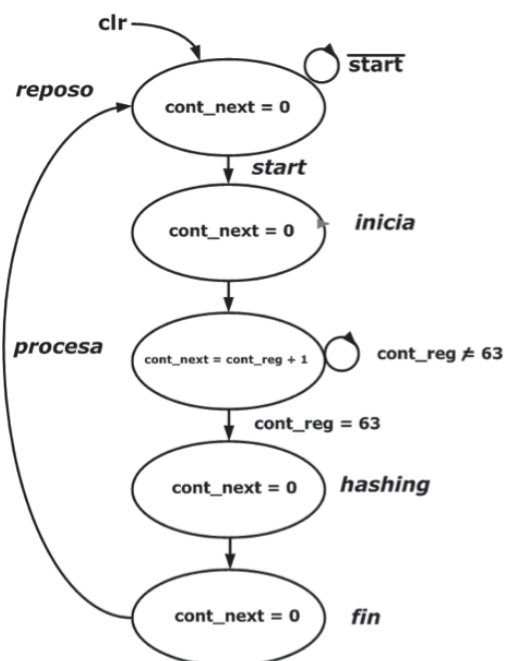


Fig. 3. Máquina de estados encargada de gobernar el hasher

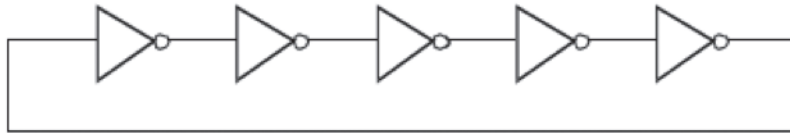


Fig. 4. Cadena de inversores impar para obtener un oscilador en anillo

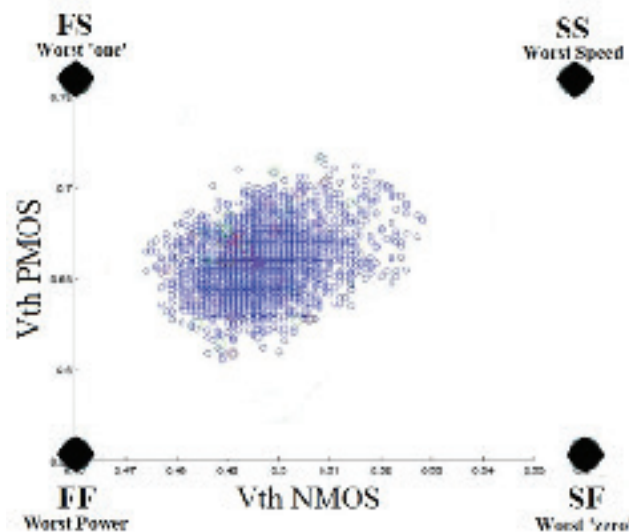


Fig. 5. Representación gráfica de los *corners* de la tecnología y diagrama de dispersión de los valores de tensiones de umbral probables

te de desviaciones de los parámetros de sus valores nominales. Estas desviaciones suelen darse durante el proceso de fabricación del circuito. Por tal razón y para asegurar el trabajo en un rango de frecuencias acorde a la frecuencia máxima esperada para el correcto funcionamiento del circuito, se realizan simulaciones de la estructura del oscilador sobre los *corners* o esquinas estadísticas de la tecnología, que consisten en los valores extremos pero probables para las características de los transistores fabricados en una dada tecnología. Usualmente, estos puntos son caracterizados por la tensión de umbral de los transistores N y P de la tecnología CMOS, conformando un área de desempeño probable como la que se observa en la Figura 5.

El circuito diseñado para cumplir la función de generador de *clock* puede verse en el esquema a nivel de compuertas de la Figura 6, donde se agrega lógica de control que permite cambiar el punto de la cadena de inversores a partir del cual se toma la señal de *clock*. De allí resulta en una frecuencia mayor cuanto menos inversores queden contenidos en la cadena. Esto se logra

con un multiplexor de 4 a 1, controlado por las señales *s1* y *s2* y se le agrega un control de *Integrated Clock Gating* (ICG) y un divisor de frecuencia por 16 para un modo de *debug* de baja velocidad, de aproximadamente 10 MHz. El objetivo del ICG es automatizar el instante en el que se habilita la señal de *clock* para el circuito integrado. Debe tenerse en cuenta que durante el encendido del circuito al oscilador puede tomarle algunos ciclos para alcanzar un estado estacionario de funcionamiento. Las simulaciones de la frecuencia de oscilación pueden verse en la Figura 7 sobre los *corners* de la tecnología para una frecuencia nominal de trabajo de 200 MHz. Allí se aprecia una variación esperable de esta frecuencia de aproximadamente $\pm 25\%$ respecto del valor nominal, debido únicamente a las variaciones máximas esperadas del proceso de fabricación del integrado.

Descripción del *hardware*, simulaciones a nivel comportamiento y síntesis en silicio

El circuito integrado comprende dos *hashers* idénticos denominados A y B. En la Figura 8 se

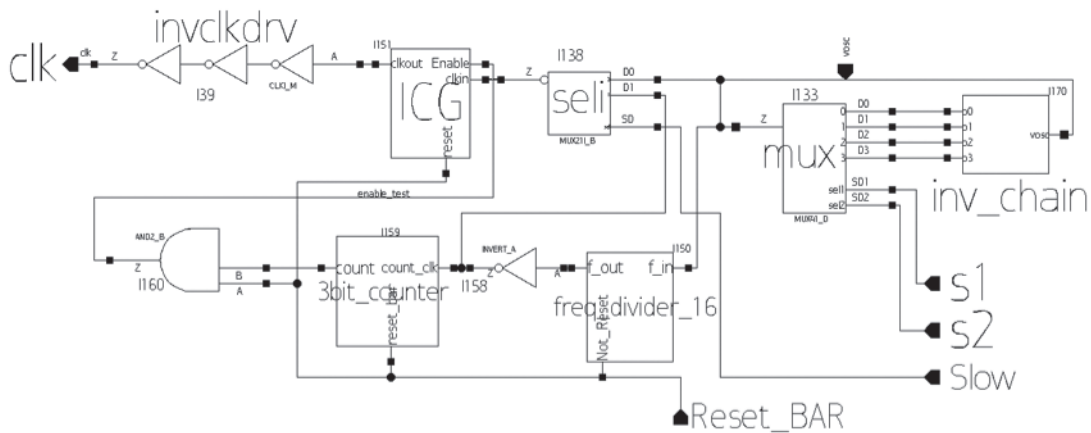


Fig. 6. Diagrama a nivel de compuertas del oscilador configurable

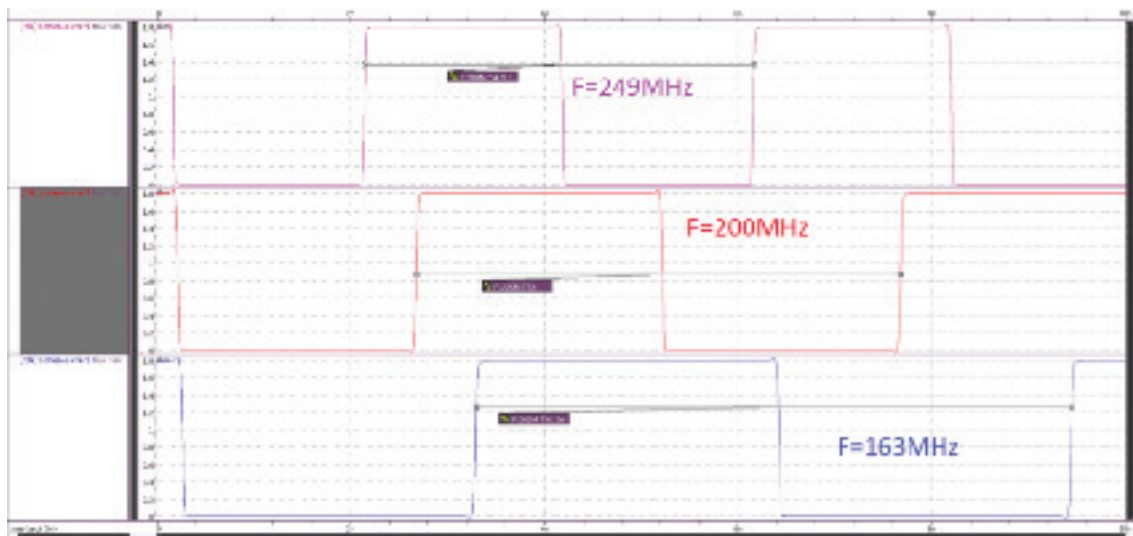


Fig. 7. Frecuencia del oscilador en anillo para condición nominal de 200 MHz, sobre los corners de la tecnología (FF, SS y típico)

observa el diagrama en bloques de cada uno de los hashers. El mismo comprende:

- . la interfaz UART, encargada de la comunicación con el exterior,
- . el *Linear Feedback Shift Register* (LFSR), encargado de la generación de mensajes pseudoaleatorios,
- . la unidad de control,
- . el motor de encriptación que implementa el algoritmo SHA-256,
- . el divisor de la frecuencia de *clock* que permite facilitar la medición externa del *clock*,
- . el oscilador propiamente dicho y
- . el sincronizador de reset externo.

Todos los bloques a excepción del oscilador fueron íntegramente diseñados y verificados en el lenguaje descriptor de *hardware* Verilog

(IEEE, 2001).

Cada uno de los *hashers* tiene tres modos independientes de funcionamiento:

Modo *CALC_HASH*: Luego del encendido del dispositivo, el *host* debe enviar un comando *CALC_HASH* (0xDC) a través de la interfaz de comunicación para que el dispositivo entre en el modo *CALC_HASH*. Seguidamente, el *host* debe enviar los 512 *bits* del mensaje a procesar. Dado que la interfaz serie acepta datos de 8 *bits* de tamaño por cada transacción, el *host* debe dividir el mensaje en 64 *bytes* ordenados comenzando por el *byte* más significativo (*Most Significant Byte first - MSB first*). Cuando el dispositivo adquiere los 64 *bytes* del mensaje, automáticamente realiza el algoritmo *SHA-256* obteniendo los 256 *bits* de *hash*. Una

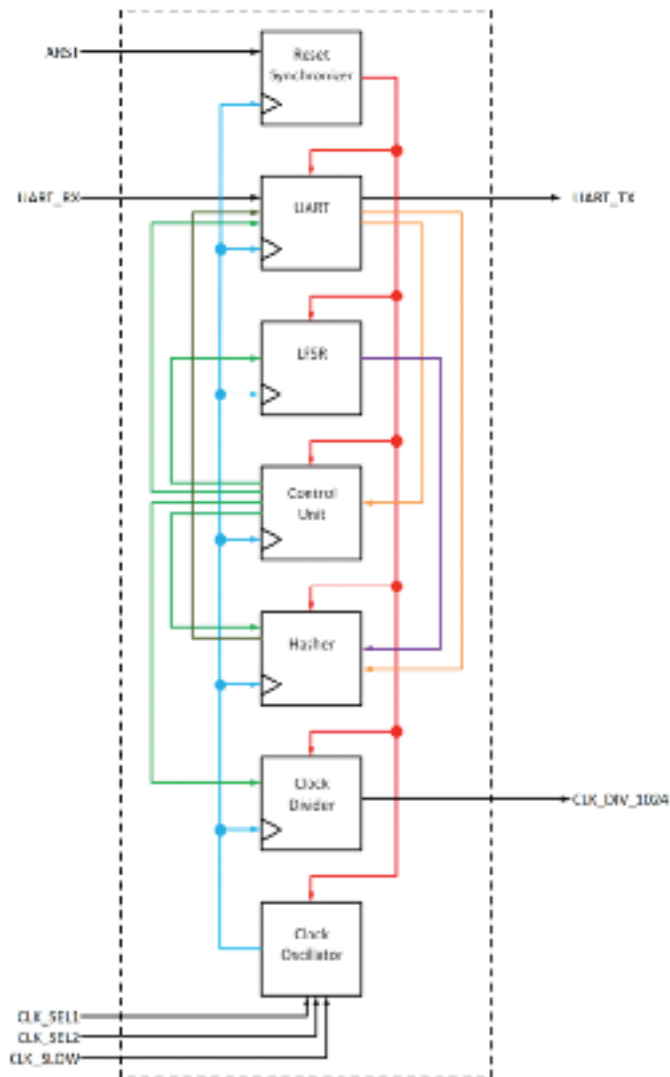


Fig. 8. Diagrama en bloque de cada uno de los *hashers*

vez realizado este cálculo, el dispositivo envía a través de su interfaz serie los 32 *bytes* de *hash* también en formato *MSB first*.

Modo *DEBUG*: Es similar al modo *CALC_HASH*, pero pensado para la depuración del algoritmo. El *host* debe enviar un comando *ENTER_DEBUG_MODE* (0xDE), seguido de un comando *CALC_HASH* y los 512 bits del mensaje. En cada paso del algoritmo *SHA-256*, el dispositivo transmite por su interfaz serie el estado de los registros internos. Cuando el algoritmo finaliza, el valor del *hash* correspondiente al mensaje es transmitido. Para salir del modo *DEBUG*, el *host* debe enviar el comando *EXIT_DEBUG_MODE* (0xDF).

El modo *DEBUG* se logra concatenando los registros internos del *hasher* en una suerte de cadena de registros. Esto es posible dado

que cada registro del *hasher* es de 32 *bits* de forma tal que se subdivide cada registro en 4 *bytes* y se lo conecta en cadena con el *byte* siguiente, tal como se observa en la Figura 9.

Para no perder el estado del algoritmo mientras se lee cada registro interno, la cadena de registros es circular, de forma tal de que al finalizar la transmisión de todos los *bytes*, la cadena de registros se encuentra en el estado previo al envío de la información. En ese momento se avanza un paso el algoritmo y se repite la operación. Este proceso se realiza hasta que el algoritmo *SHA-256* es completado para el mensaje recibido como dato. De esta forma el *host* puede conocer el estado de todos los registros del *hasher* en cada paso del algoritmo, haciendo posible verificar la correcta funcionalidad del mismo. El orden de la

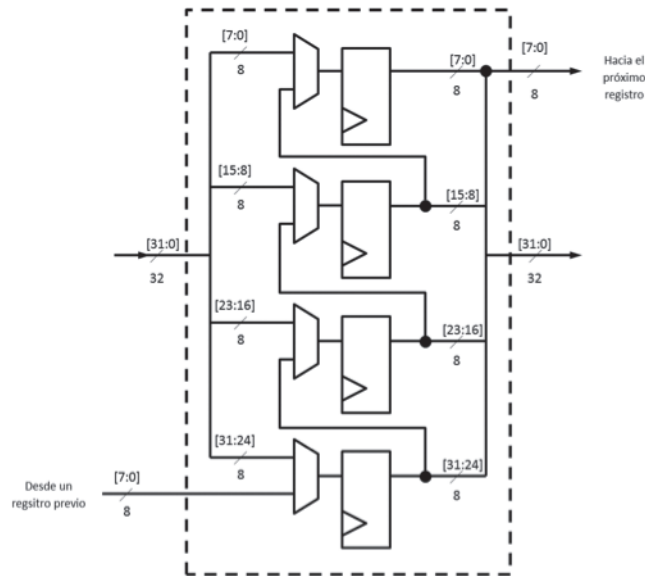


Fig. 9. Conexión interna de cada registro de 32 bits posibilitando la conexión en cadena

Orden	Registro
0	W0 [7: 0]
⋮	⋮
3	W0 [31:24]
4	W1 [7: 0]
⋮	⋮
7	W1 [31:24]
⋮	⋮
60	W15[7: 0]
⋮	⋮
63	W15[31:24]
64	A [7: 0]
⋮	⋮
67	A [31:24]
68	B [7: 0]
⋮	⋮
71	B [31:24]
⋮	⋮
92	H [7: 0]
⋮	⋮
95	H [31:24]

Tabla 1. Orden de la cadena de *debug*

cadena circular está descrito en la Tabla 1.

Modo *FREE_RUNNING*: Este modo está destinado para evaluación de consumo de potencia. En él, el motor de *hashing* toma los 512 bits de mensaje directamente desde el LFSR. Cada vez que el motor de *hash* termina de procesar un mensaje completo, acepta un nuevo dato pseudo-aleatorio generado por el LFSR. Esto hace que el motor de *hashing*

opere a su máxima velocidad, pudiendo realizarse una medición de la potencia de consumo en estas condiciones de funcionamiento. Para iniciar el modo *Free running*, el *host* debe enviar a través de la interfaz serie el comando *START_FREE_RUNNING* (0xDA), luego del cual el circuito no envía ninguna información que indique que se encuentra en este modo de operación, siendo el aumento en la corriente de consumo el único testigo de este estado.

Comando	Codificación	Descripción
<i>START_CLK_DIV</i>	0xD8	Inicializa el <i>pin clk_div</i> .
<i>STOP_CLK_DIV</i>	0xD9	Detiene el <i>pin clk_div</i> .
<i>START_FREE_RUNNING</i>	0xDA	Inicia el modo <i>FREE_RUNNING</i> .
<i>STOP_FREE_RUNNING</i>	0xDB	Detiene el modo <i>FREE_RUNNING</i> .
<i>CALC_HASH</i>	0xDC	Habilita el cálculo de un <i>hash</i> simple.
<i>RST_HASHER</i>	0xDD	Realiza el <i>soft-reset</i> del motor de <i>hashing</i> .
<i>ENTER_DBG_MODE</i>	0xDE	Inicializa el modo <i>DEBUG</i> .
<i>EXIT_DBG_MODE</i>	0xDF	Sale del modo <i>DEBUG</i> .

Tabla 2. Listado de comandos y descripciones

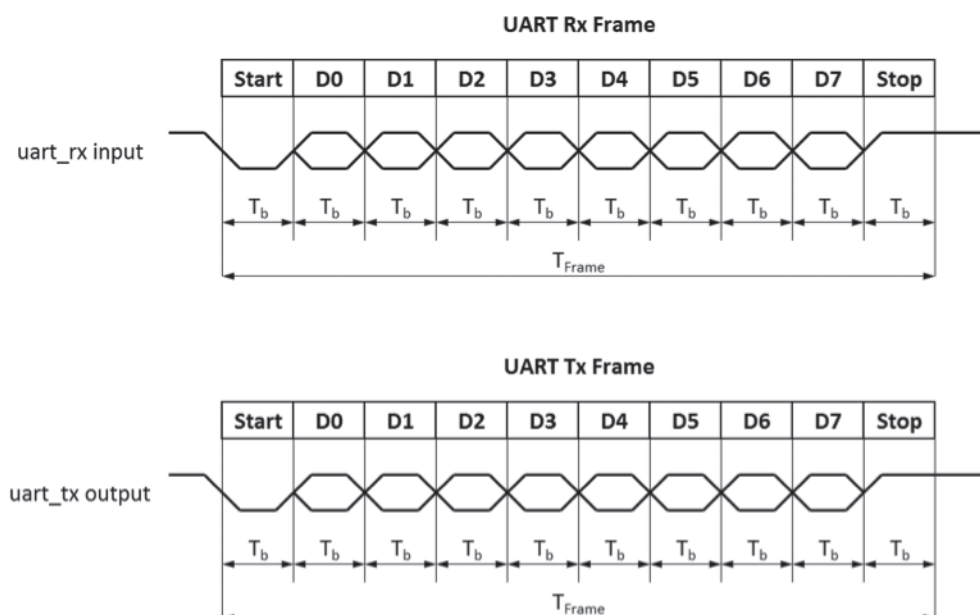


Fig. 10. Formato de la trama de comunicación

Para salir de este modo de operación, el *host* debe enviar el comando *STOP_FREE_RUNNING* (0xDB).

Medición de la frecuencia de *clock*: En el dispositivo se incorporó un *pin* denominado *clk_div*. Cuando el *host* envía el comando *START_CLK_DIV* (0xD8) este *pin* corresponde a la señal de *clock* dividida por 1024, facilitando la medición de la frecuencia de *clock*. Por defecto, luego del encendido del dispositivo, este *pin* se encuentra activo de forma tal de no requerir el envío de ningún comando por parte del *host* para poder medir la frecuencia del *clock*.

Interfaz serie

La interfaz serie corresponde al protocolo UART y se configura su trama con un 1 *bit* de inicio, 8 de datos y 1 de parada, sin *bits* de paridad, como puede observarse en la Figura

10 para Rx y Tx. El tiempo de *bit* T_b no corresponde a ninguna velocidad de transmisión (*baud rate*) estándar y debe ser calculado en función de la frecuencia de reloj del dispositivo de acuerdo a la ecuación (8).

$$T_b = \frac{10^8}{19200 \times f_{clk} [Hz]} \quad (8)$$

En la Tabla 2 se observa el listado completo de comandos que el dispositivo puede aceptar desde el *host*.

Proceso de síntesis lógica, place and route y resultados obtenidos

La síntesis lógica fue realizada con la herramienta *Synopsys Design Compiler®* (Synopsys Inc., 2014) sobre el proceso de fabricación IBM 180 RF de 180 nm provisto por *MOSIS* (The MOSIS Service, 2014). El proceso de *Place and Route*, se divide en dos etapas: la pri-

Resultados	
Máxima frecuencia de operación	285 MHz
Cantidad de Flip-Flop D	1694
Área	0.5mm ²

Tabla 3. Resultados de la etapa de síntesis para cada *hasher*

mera consiste en el emplazamiento de las distintas celdas que conforman el CI, generando así un denominado *floor plan*. La información del mismo es posteriormente utilizada en conjunto con información intrínseca del proceso (niveles de metal, reglas de diseño, etc.) para definir los caminos de interconexión entre las celdas. La herramienta utilizada para este proceso fue *Synopsys IC Compiler®* (*Synopsys Inc.*, 2014).

Los resultados obtenidos por la etapa de síntesis se detallan en la Tabla 3 para cada uno de los *hashers*.

iPDK en *Open Access*: herramientas del flujo de diseño

Para el desarrollo de este proyecto, fue necesaria la configuración en los servidores de aplicaciones del Laboratorio de Microelectrónica de UTN-FRBA del mencionado *software*, provisto por *Synopsys®* y *Mentor Graphics®*, firmas con las cuales se consiguieron acuerdos académicos para la utilización de estas herramientas. Como paso posterior a la instalación, las herramientas de síntesis, *layout* y extracción de parásitos, provistas por *Synopsys®*, debieron ser configuradas para interactuar con las de verificación (DRC, LVS) provistas por *Mentor Graphics®*. De igual manera, ambos conjuntos de *software* debieron ser adaptados para la utilización de los *kits* de diseño físico interoperables o *Interoperable Physical Design Kit*, (iPDK) en formato *open access*, provistos por IBM, a través de MOSIS. Dicho *kit* corresponde al proceso de fabricación empleado para la síntesis del código verilog (IBM7RF, de 180 nm de longitud de canal). El mismo contiene los parámetros físicos de los componentes para las simulaciones de comportamiento del sistema, así como los diseños de *layout* asociados a los mismos y celdas paramétricas (*pCells*, que generan el *layout* asociado a determinados componentes en forma automática, a partir de las dimensiones que asigna el usuario). Por otro lado, es también el iPDK el que contiene la

información de reglas de diseño y extracción, las cuales son utilizadas durante los procesos de DRC, LVS y PEX.

El diagrama de la Figura 11 esquematiza la estructura adoptada para organización de las herramientas: el grueso del *software* está instalado sobre un único servidor (procesador Intel Xeon, 16 GB de memoria RAM, 2 TB de almacenamiento, y utilizando como sistema operativo CentOS 6.5) que realiza todo el procesamiento de datos para el diseño y síntesis de circuitos. Para ello, cada investigador registrado en el laboratorio accede al mismo en forma remota vía *Secure Shell* (SSH) desde cualquier ordenador dentro de UTN-FRBA. Habiendo adoptado esta filosofía de trabajo multiusuario, se gestiona el nivel de acceso a cada usuario del sistema mediante los permisos de UNIX® y se automatiza el *back-up* del proyecto en un repositorio Mercurial en otro equipo.

De igual manera, el PDK provisto por IBM a través de MOSIS, fue organizado en función su contenido. Dado que el mismo es una extensa librería de modelos de componentes, estos fueron clasificados según el *software* para el cual están optimizados (*Synopsys®*, *Mentor Graphics®*, *Cadence®*), y se agruparon por otro lado, aquellos modelos que son intrínsecos del proceso. Esta metodología de ordenamiento es de suma practicidad para administrar la instalación del PDK, y nos permitirá eventualmente, organizar otro proceso CMOS en forma similar, **reduciendo en gran medida el tiempo demandado para las tareas de puesta a punto de los scripts de ejecución y administración.**

Las rutinas de administración, ejecución y mantenimiento para la vinculación de todas las herramientas utilizadas fueron escritas en lenguajes *bash* y TCL y posibilitan a su vez, la administración de todos los proyectos a desarrollar en el laboratorio. Las mismas permiten al usuario una interacción mucho más amigable con las aplicaciones de diseño, ya que automatizan la vinculación de cada proyecto en

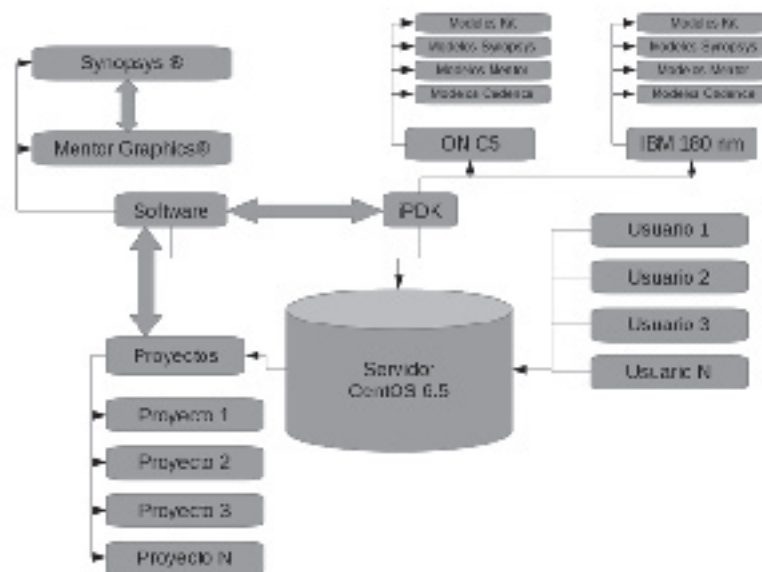


Fig. 11. Estructura Servidor de aplicaciones + iPK

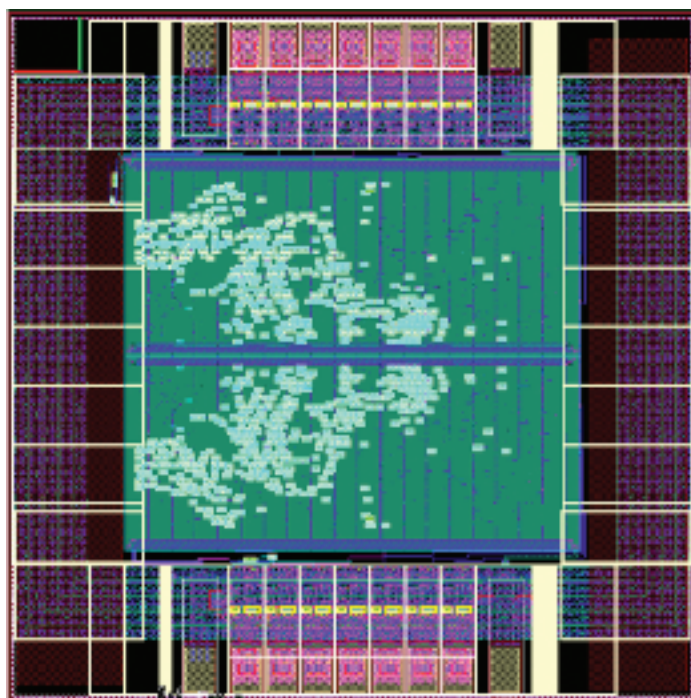


Fig. 12. Layout del circuito integrado. Pueden apreciarse los 18 pads de conexión



Fig. 13. Esquema de conexión para la comunicación con el hasher

particular con el *software* y las librerías (PDK).

Es importante mencionar, que en paralelo a la puesta a punto del iPDK para 180 nm, se configuró un PDK para 500 nm. Las metodologías desarrolladas planean ser usadas para la configuración de un proceso de 130 nm de IBM, de forma que los tres procesos coexistirían en paralelo en el laboratorio. La puesta a punto de esta estructura (servidor de aplicaciones, instalación del *software*, configuración del PDK, configuración del *software* y su vinculación con el PDK y gestión del acceso remoto) demandó una gran inversión de tiempo y esfuerzos, pero permitirá reducir drásticamente los tiempos empleados para el diseño de circuitos integrados dentro del Laboratorio de FRBA-UTN, y representará una infraestructura disponible en muy pocos establecimientos universitarios dentro del país.

Fabricación y pruebas de funcionamiento

Layout, fabricación y encapsulado

Una vez completado el trabajo de síntesis y verificación, se provee el diseño de las máscaras de litografía a la *foundry* encargada de fabricar el circuito y encapsularlo. Para este diseño se optó por incluir en un mismo *die* (unidad de silicio sobre la cual funciona el diseño) de 1,5 mm x 1,5 mm, dos *hashers* completos con sus respectivos osciladores configurables y *pads* de entrada/salida para la prueba del circuito. En total, cada uno cuenta con 7 *pads* para las líneas de Tx, Rx de la UART embebida, una salida con el valor de *clock* dividido en 1000 veces para su medición y estimación de la velocidad real de funcionamiento y las entradas de control del oscilador configurable, dos para el control fino y una para el valor de $f=10$ MHz de *debugging*. A cada circuito se le agregan *pads* de alimentación (GND y VDD=1,8 V). En total, el *chip* posee 18 *pins* y se decidió colocarlo en una cápsula del tipo OCP SOIC de 20 *pins* - OCP_SOIC_300_20A - (The MOSIS Service, 2015) de montaje superficial.

La Figura 12 muestra una imagen del *layout* del circuito final, donde pueden verse hacia el centro del *die* los dos *hashers*. Sin embargo, no se distinguen los transistores ni las celdas lógicas debido a la muy alta densidad de transistores por unidad de área, sumado a las líneas de

interconexión en 6 niveles metálicos distintos.

La implementación en silicio del circuito integrado diseñado se realiza gracias al consorcio estadounidense MOSIS (The MOSIS Service, 2015), con quien la FRBA-UTN mantiene un acuerdo académico para la fabricación sin costo de circuitos integrados con fines educativos y de investigación. Esto es posible utilizando el tiempo muerto de las *foundries* y por medio de los denominados *Multi Project Waffer* (MPW). El tiempo estimado que demora este proceso ronda los 2 a 4 meses a partir del envío de las máscaras de fabricación a MOSIS. Este tiempo se destina normalmente a la optimización de las estrategias de *test* y a la documentación de la etapa de diseño del proyecto. Como ya se ha comentado, este consorcio es el que brinda acceso a los procesos de fabricación, como por ejemplo IBM7RF, proceso de longitud de canal de 180 nm con el cual se sintetizó este circuito.

Testing: Comunicación con el CI y pruebas de funcionamiento

La primera versión del *chip* posee como interfaz de comunicación con el mundo exterior una UART cuya frecuencia de *clock* es derivada de la principal del sistema (oscilador en anillo). Por ello, el *baud rate* de la UART podría no ser estándar (9600BPS; 19200BPS; 115200BPS; etc.) dado que éste surge de una división entera del *clock* del sistema. Esta simplificación en el diseño del *chip* trae aparejadas dos consecuencias: la primera es que dificulta la interfaz de *testing* (por el *baud rate* no estándar), teniendo que colocar una *Field Programmable Gate Array* (FPGA) entre el puerto de comunicación con la PC y el *chip* para compensar esta diferencia; la segunda es la limitación de velocidad que es impuesta por una comunicación asíncrona.

A nivel de *hardware* el *chip* conecta cada uno de sus *pins* a una *Complex Programmable Logic Device* (CPLD) que a su vez se conecta a un puente o *bridge USB-serie* y éste a una PC que transmitirá los patrones de testeo. La CPLD se colocó para adaptar niveles de tensión y poder solucionar cualquier incompatibilidad entre la UART del *chip* y la UART del *bridge USB-serie*. Además se utiliza para controlar los *pins* de I/O que controlan el *clock* y el modo de funcionamiento.

Los modos de funcionamiento *CALC_HASH* y *FREE_RUNNING* previamente descriptos, son utilizados en esta etapa de *test*. En el primero, se espera a que se le transmita al *chip*, utilizando la UART, un mensaje patrón a procesar, para luego responder con el resultado del algoritmo para ese mensaje particular. Con este modo se espera verificar el correcto funcionamiento del *chip*. Luego, con el modo *FREE_RUNNING*, se evaluará su consumo sin recibir datos a procesar a través de la UART sino a través de un LFSR. Habilitando los distintos *clocks* del oscilador en anillo es posible medir el consumo para distintas frecuencias de operación.

Conclusiones y perspectivas

El presente trabajo ha sido el puntapié inicial para la colaboración e interacción con el equipo del Prof. Stevens y en la capacitación de nuestro equipo de trabajo en el área del diseño de CI digitales. Desde el punto de vista del diseño, una gran cantidad de tiempo y esfuerzo (más de 2000 horas hombre hasta la fecha) fue invertida en la configuración de un iPDK capaz de otorgar la flexibilidad y productividad necesaria para poder tener un flujo de diseño sólido y que permita plantear objetivos puntuales en tiempos perfectamente estimables. En la actualidad, el Laboratorio de Microelectrónica de la FRBA-UTN, posee la capacidad de diseñar y verificar circuitos integrados analógico-digitales (*mixed-signal*) en tecnologías CMOS-RF de 180 nm provistas por IBM a través de MOSIS, lo cual es un gran logro entre las entidades educativas del país. En el futuro cercano, se proyecta la inclusión de un nodo más reciente de fabricación en 130 nm.

El circuito sintetizado proyecta un funcionamiento a una velocidad de *clock* de 200 MHz, pudiendo optimizarse el diseño para una mayor velocidad, objetivo que buscará alcanzarse en la próxima iteración. Cabe destacar que el mismo se toma como caso de estudio para realizar una comparación estimativa entre arquitecturas. El *testing* demuestra ser tan complejo como lo es el diseño del circuito, requiriendo un sistema que pueda correr programas de evaluación a la velocidad de funcionamiento del circuito integrado diseñado.

En el corto plazo, se planea la fabricación de una nueva versión del circuito propuesto para optimizar las metodologías de *testing* y medi-

ción del rendimiento del circuito síncrono, de forma de comparar resultados con estructuras equivalentes diseñadas mediante estrategias asincrónicas. Entretanto, se prevé continuar con la capacitación en el diseño de circuitos integrados asincrónicos para realizar contribuciones a este área del conocimiento que promete, a futuro, importantes resultados a ser tenidos en cuenta no sólo en el ámbito académico sino en la industria de los circuitos de alto rendimiento.

Las implicancias de esta última idea pueden ser fácilmente contextualizadas cuando se analizan los problemas que enfrenta el diseño síncrono en la actualidad: los límites cada vez más próximos en el escalamiento de las tecnologías CMOS acarrearán incrementos inadmisibles del consumo y la saturación de la capacidad de procesamiento (Iwai, 2015). Por ello, diversas alternativas emergieron en el ámbito académico en la búsqueda de la optimización de los circuitos digitales. Se trató de maximizar su velocidad de procesamiento a un consumo considerablemente menor. Una de las más destacadas es el diseño de circuitos asincrónicos. Esto significa que su funcionamiento no está atado al ritmo de una señalización periódica externa para la realización de operaciones. Es decir, que el circuito con sus estructuras internas, controla el flujo de información entre etapas lógicas mediante señalizaciones internas totalmente asincrónicas. Esto es una suerte de protocolo "on-demand" donde el funcionamiento de una estructura se dispara en el momento en que la estructura anterior puso a disposición sus datos. Esta técnica, ampliamente desarrollada actualmente por el profesor Stevens (Stevens, 2013, 2011, 2010) ha reportado ya resultados prometedores en cuanto a consumo y capacidad de procesamiento, tomando siempre como casos de estudio un circuito integrado de aplicación específica como circuito bajo prueba.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen a *Mentor Graphics®* y *Synopsys Inc. ®* por brindar el acceso al *software* de verificación y diseño a través de sus respectivos acuerdos académicos, sin los cuales el desarrollo aquí presentado no hubiera sido posible.

Glosario

- . SHA: *Secure Hash Algorithm* (Algoritmo de Hash Seguro)
- . PDK: *Physical Design Kit* (Kit de Diseño Físico)
- . iPDK: *Interoperable Physical Design Kit* (Kit de Diseño Físico Interoperable)
- . CMOS: *Complementary Metal-Oxide-Semiconductor* (Metal-Óxido-Semiconductor Complementario)
- . EDA: *Electronic Design Automation*
- . CI: Circuito Integrado
- . VLSI: *Very Large Scale Integration* (Alta Escala de Integración) - Corresponde al nivel de integración de dispositivos (transistores MOS) en un circuito integrado.
- . DRC: *Design Rule Check* (Chequeo de Reglas de Diseño)
- . LVS: *Layout versus Schematic* (Layout vs. Esquemático)
- . PEX: *Parasitic Extraction* (Extracción de parásitos)
- . UART: *Universal Asynchronous Receiver Transmitter* (Transmisor-Receptor Universal asincrónico)
- . FIFO: *First Input - First Output* (Primero Entra-Primero Sale)
- . LFSR: *Linear Feedback Shift Register* (Registro de Desplazamiento Circular)
- . FPGA: *Field Programmable Gate Array* (Matriz de Puertas Programables)
- . CPLD: *Complex Programmable Logic Device* (Dispositivo Complejo Lógico Programable)

Referencias

- IWAI, H. (2013) "Future of nano CMOS technology", en Proceedings of the Symposium on Microelectronics Technology and Devices (SBMicro '13), pp. 1-10.
- IEEE, (2001) "IEEE standard Verilog hardware description language" IEEE Standards (IEEE Std 1364-2001), Septiembre 2001.
- STEVENS, K.; GINOSAR, R. y ROTEM, S., (2003) "Relative timing", en IEEE Transactions on very large scale integration (VLSI) systems, Vol. 11, No. 1, Febrero 2003.
- STEVENS, K. S.; DAS, S. y MANETAS G., (2013) "Source Asynchronous Signaling Protocol for Asynchronous Handshake Communication Free from Wire Delay Overhead", en IEEE International Symposium on Asynchronous Circuits and Systems, pp. 107-114.
- STEVENS, K. S.; GEBHARDT, D. y YOU, J., (2010) "Comparing Energy and Latency of Asynchronous and Synchronous NoCs for Embedded SoCs", en IEEE International Symposium on Network-on-Chip, pp. 115-122.
- STEVENS, K. S.; GEBHARDT, D. y YOU, J., (2011) "Design of an Energy-Efficient Asynchronous No Candsits Optimization Tools for Heterogeneous SoCs", en IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, Vol. 30(9), pp. 1387-1399.
- NAKAMOTO, S., (2013) "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System", en www.bitcoin.org, Research Papers.
- MASSIAS, H.; SERRET AVILA X. y QUISQUATER, J., (1999) "Design of a Secure Timestamping Service with minimal Trust Requirement", UCL Crypto Group, Louvain-la-Neuve, Bélgica.
- SYNOPTICS INC., (2015) Synopsys Design Compiler, www.synopsys.com California, USA.
- MENTOR GRAPHICS, (2015) www.mentor.com, Oregon, USA.
- THE MOSIS SERVICE, (2015) www.mosis.com California, USA.

Encapsulación de ácido fólico en matrices poliméricas diferentes

Florencia Veloso, Patricia Della Rocca

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Química, Grupo IDETQA, Medrano 951 (C1179AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

patriciadellarocca@hotmail.com

Recibido el 15 de junio de 2015, aprobado el 20 de julio de 2015

Resumen

La harina de arroz, empleada asiduamente por la población celíaca, no es actualmente en nuestro país enriquecida con nutrientes como el hierro, el cinc y las vitaminas. Sin embargo, este método se ha implantado en muchos países por iniciativa de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Un proceso adecuado de microencapsulado permite proteger cada uno de estos nutrientes de la oxidación, humedad y la exposición a la luz, y/o para enmascarar sus aromas o sabores desagradables. Un estudio completo puede incluir también la evaluación del material de encapsulamiento que mejore la biodisponibilidad de estos micronutrientes en el organismo humano.

En este trabajo se muestra la caracterización de la harina de arroz usada como base y los resultados obtenidos a partir del encapsulamiento de ácido fólico por dos métodos: secado por atomización o *spray* y gelificación iónica y empleando dos polímeros de recubrimiento en cada caso: goma arábiga y alginato de calcio, respectivamente.

PALABRAS CLAVE: MICROENCAPSULACIÓN - SECADO POR ATOMIZACIÓN - GELIFICACIÓN IÓNICA

Abstract

The rice flour, often employed by celiac population, is not in our country yet fortified by nutrients (like iron, zinc or vitamins) addition. However, this method is applied in many other countries as an initiative taken by World Health Organization (WHO).

A proper microencapsulation process allows protecting each one of the said nutrients from oxidation, moisture and light exposure damages and/or masking their unpleasant aromas and flavors. Also it involves the ability of an encapsulation medium to improve the bioavailability of micronutrients in human organisms.

In this article chemical and physical characteristics of the rice flour base are shown. Also, the results of two folic acid encapsulation methods: spray or atomizer drying and ionic gelation are presented. Two different polymeric coatings were tested, gum Arabic and calcium alginate, respectively.

KEYWORDS: MICROENCAPSULATION - SPRAY DRYING - IONIC GELATION

Introducción

La encapsulación es el recubrimiento de componentes activos, como vitaminas, minerales, antioxidantes, aceites esenciales, pigmentos, prebióticos, microorganismos como probióticos, enzimas, etc. que integran el núcleo y que pueden encontrarse en estado sólido, líquido o gaseoso mediante cápsulas consistentes en diferentes polímeros que liberan su contenido de manera controlada bajo determinadas condiciones. En el caso de vitaminas y minerales es importante su protección, no sólo para preservar su valor nutricional sino también para enmascarar los aromas y sabores desagradables. La matriz polimérica o capa externa genera un ambiente capaz de controlar su interacción con el exterior. El polímero más adecuado dependerá de sus características químicas y del entorno en el cual son incorporados. La encapsulación es una técnica que actúa como barrera retardando las reacciones químicas entre el componente recubierto y el ambiente exterior. Se puede llevar a cabo a través de procesos químicos o mecánicos. Entre los procesos químicos se encuentran: la coacervación, la polimerización interfacial, la gelificación iónica, el encapsulado con liposomas y la inclusión molecular. Entre los procesos mecánicos están las técnicas de co-cristalización, enfriamiento por *spray*, recubrimiento por lecho fluidizado, extrusión y el secado por atomización o por *spray*, siendo esta última la más utilizada hasta el momento en la industria alimenticia por su menor costo (Madene y col., 2006).

Shahidi y Han (1993) propusieron seis razones para aplicar la microencapsulación en la industria alimenticia:

1. Reducir la reactividad del núcleo con los diferentes efectos ambientales como la humedad, la oxidación, la acción de la luz, etc.
 2. Disminuir la velocidad de transferencia del componente activo que forma parte del núcleo hacia el exterior.
 3. Promover un fácil manejo o manipulación.
 4. Controlar la liberación del material del núcleo.
 5. Enmascarar aromas o sabores desagradables.
 6. Diluir el material del núcleo cuando éste deba ser usado sólo en pequeñas cantidades.
- Los biomateriales encapsulantes comúnmente utilizados son carbohidratos, celulosas, gomas, proteínas y lípidos. En la Tabla 1 se presentan las características principales de algunos de ellos. Los mismos pueden emplearse en forma individual o combinados con otros materiales, a fin de generar sinergias favorables (Goh y col., 2012; Wandrey y col., 2010).

Los hidrocoloides son empleados como matriz debido a su capacidad para absorber agua, fácil manipulación e inocuidad. Además de comportarse como gelificantes y estabilizantes. En el proceso de gelificación iónica se suele usar el alginato.

El alginato es un polisacárido lineal proveniente de algas marinas constituido por dos monómeros en su estructura, el ácido α -L-gulurónico (G) y el ácido β -D-manurónico (M) que se distribuyen constituyendo homopolímeros o heteropolímeros. La distribución de sus monómeros en la cadena polimérica como la carga y volumen de los grupos carboxílicos otorgan al gel de la matriz características de flexibilidad o rigidez dependiendo del contenido en ácido α -L-gulurónico (G). En presencia de iones divalentes como el

Material de recubrimiento	Características
Maltodextrina	Formador de película
Sólidos de jarabe de maíz	Formador de película
Almidón modificado	Muy buen emulsionante
Goma arábica	Emulsionante, formador de película
Celulosa modificada	Formador de película
Gelatina	Emulsionante, formador de película
Ciclodextrina	Emulsionante, encapsulante
Lecitina	Emulsionante
Proteína de suero	Buen emulsionante
Grasa hidrogenada	Barrera al oxígeno y a la humedad

Tabla 1. Materiales de recubrimiento de cápsulas y sus características principales (Madene, 2006)

PROYECCIONES - Publicación de investigación y posgrado de la Facultad Regional Buenos Aires

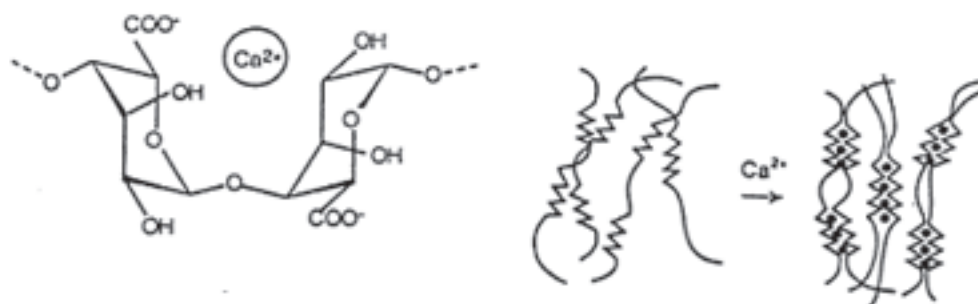


Fig. 1. Uniones α (1 $\rightarrow$ 4) entre moléculas y uniones de cadenas de alginato con iones calcio divalentes (los puntos negros representan estos cationes)

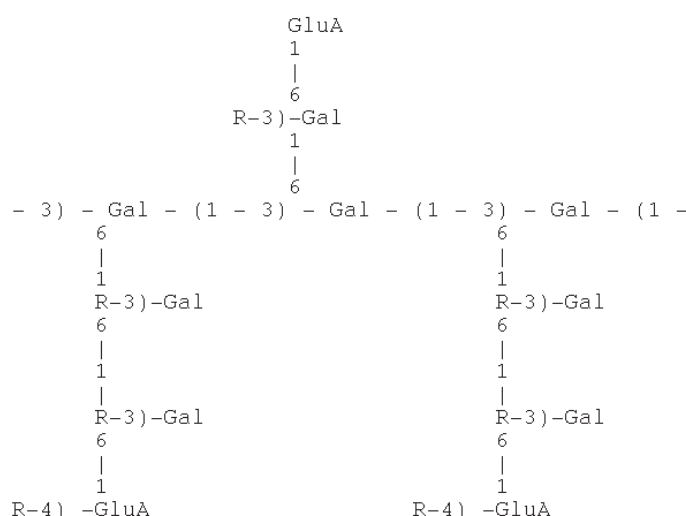


Fig. 2. Estructura de la goma arábiga. Gal es D-Galactopiranososa, GluA es ácido B glucurónico y R pueden ser residuos de arabinosa, ramnosa, galactosa y ácido glucurónico

calcio producen una solución espesa con aspecto de gel. El gel se forma por acción de varias cadenas situadas de manera paralela en las que se alojan iones divalentes en sus huecos. Cuanto más grande es el radio iónico más rígida resulta la estructura. El magnesio con radio iónico bastante menor que el del calcio y el del estroncio no logra formar un gel. Estas estructuras se denominan cajas de huevos por su similitud con ellas, tal como puede apreciarse en la Figura 1.

La goma arábiga es un exudado gomoso obtenido de varias especies de árboles de Acacia, de la familia de las Leguminosas. Es también conocida como goma acacia, de Turquía o de Senegal.

La goma arábiga existe en la naturaleza como una sal neutra o ligeramente ácida de un polímero compuesto por unidades de B galactopiranososa unida a través de uniones beta 1-3 con cadenas terminadas en residuos de ácido

glucurónicos o 4-o-metilglucurónico como se observa en la Figura 2. La hidrólisis produce 4 azúcares principales: D-galactosa, L-ramnosa, L-arabinosa y D- ácido glucurónico.

El núcleo de las cápsulas puede estar compuesto por uno o varios ingredientes y la pared o el recubrimiento o la también denominada matriz podría estar integrada por una única capa o multicapas.

El núcleo podría ser un material cristalino, una emulsión, una suspensión de sólidos o una suspensión de micropartículas de menor dimensión que la que las contiene. Los tamaños y las formas de las micropartículas dependen de los materiales y los métodos que se utilizan para prepararlas.

Las diferentes tipos de microcápsulas se producen a partir de una amplia variedad de materiales de pared (monómeros y/o polímeros) y por



Fig. 3. Diferentes tipos de atomizadores: de izquierda a derecha: centrífugos, boquilla a presión y boquilla neumática

Atomizador	Tamaño de partícula (μm)
Discos Rotatorios	1-600
Boquillas de Presión	10-800
Boquillas Neumáticas	5-300

Tabla 2. Tipos de atomizadores y los tamaños de partículas producidos

distintas técnicas de microencapsulación (Desai y Park, 2005; Gibbs y col., 1999; Gouin, 2004; King, 1995). El secado por atomización, uno de los más comunes, se empleó por primera vez en 1930 para preparar los primeros microencapsulados de aromas en el que se utilizaba goma arábiga como material de pared. Se trata de una operación unitaria en la que un producto líquido se atomiza en una corriente de gas caliente para obtener instantáneamente un polvo. Generalmente se emplea aire o un gas inerte como el nitrógeno. En el secado por atomización el polvo que se produce resulta de un tamaño de partícula que depende del material de alimentación y de las condiciones de operación.

Existen distintos tipos de atomizadores (Figura 3):

1. Centrífugos: El líquido entra por el centro del atomizador constituido por un cilindro redondo y egresa del mismo por el borde en forma de una nebulización homogénea de gotitas.
2. Boquilla a presión: El líquido es impulsado a elevada presión (700-200 kPa) a través de una pequeña abertura. De esta manera se genera una nebulización de gotas de líquido.
3. Boquilla neumática: Se logra la aspersión del líquido mediante aire u otro gas a elevada velocidad que se pone en contacto directo con la alimentación.

La Tabla 2 presenta los tamaños de partícula típicos obtenidos con los diferentes atomizadores

o aspersores (Filková y col., 2006)

Si bien la velocidad y el tiempo requerido para el secado depende del tamaño de partícula, también son función de la temperatura del aire de secado y del coeficiente de transferencia de calor.

La elección de la configuración del atomizador depende de la naturaleza y viscosidad de la alimentación y de las características deseadas del producto seco. El tamaño de la partícula formada aumenta con un incremento del caudal de la alimentación. Además el tamaño de partícula aumenta cuando son mayores la viscosidad y la tensión superficial del líquido.

La corriente de fluido caliente puede direccionarse en el mismo sentido en que es atomizado el líquido (cocorriente) o en sentidos opuestos (contracorriente). La temperatura del aire caliente de entrada se encuentra en un rango de temperatura entre 150-220 °C, la evaporación del agua ocurre instantáneamente. Sin embargo, la principal ventaja del proceso en contracorriente es que consume menos energía y por consiguiente es más económico que el cocorriente. Si bien, las temperaturas alcanzadas son altas, los tiempos de proceso son muy cortos, por consiguiente puede trabajarse con materiales sensibles al calor (Ángeles, 2009).

Durante el contacto de las gotitas de líquido con el aire caliente, se establece un balance de

temperatura y de presiones parciales de vapor entre el líquido y el gas. La energía es transferida desde el aire caliente hacia el producto como resultado de la diferencia de temperatura mientras que el agua se transfiere en la dirección opuesta debido a la diferencia de presión de vapor, la que es superior en el líquido que en el gas caliente.

La aplicación del proceso de secado *spray* involucra cuatro etapas básicas:

1. Formación de una emulsión fina y estable del material del núcleo en la solución de la pared. La mezcla formada por el material del núcleo, usualmente de naturaleza hidrofóbica, se dispersa en la solución del material de pared o recubrimiento con el cual es inmiscible.
2. Homogeinización de la dispersión con o sin la adición de emulsionante.
3. Atomización de la emulsión.
4. Deshidratación de las partículas atomizadas.

La viscosidad de la emulsión y la distribución del tamaño de partícula tiene efectos significativos en la microencapsulación por secado *spray*. La viscosidad alta produce la formación de gotas más grandes que afectan adversamente el secado por atomización (Rosenberg y col., 1990). La retención de material de núcleo durante la microencapsulación mediante secado por atomización depende de la composición y las propiedades de la emulsión y de las condiciones de secado. Los principales factores en el secado *spray* a optimizarse son: la temperatura de la alimentación, la temperatura del aire caliente de entrada y de salida (Liu y col., 2004). La temperatura de la alimentación modifica la viscosidad

de la emulsión, su fluidez y por consiguiente la capacidad de ser homogéneamente atomizada.

Por ello un incremento de la temperatura de alimentación ocasiona una disminución en la viscosidad y en el tamaño de las gotas pero temperaturas muy altas pueden producir volatilización o degradación de algunos componentes sensibles al calor. El caudal de alimentación se ajusta para que cada gota atomizada alcance el nivel de secado deseado antes de entrar en contacto con la superficie de la cámara. La temperatura del aire de entrada es directamente proporcional a la velocidad de secado de la microcápsula y al contenido final de agua. Cuando la temperatura de entrada del aire es baja, la velocidad de evaporación produce microcápsulas con membranas de alta densidad, mayor contenido de agua, baja fluidez y mayor facilidad para aglomerarse. El objetivo principal de este trabajo fue encapsular al ácido fólico en distintas matrices poliméricas, para protegerlo de las condiciones ambientales y facilitar su biodisponibilidad en el organismo. En esta primera etapa se trabajó con dos polímeros: goma arábica y alginato de calcio y dos técnicas diferentes de encapsulación: secado *spray* y gelificación iónica, respectivamente.

Parte Experimental

Microcápsulas de ácido fólico como componente activo en goma arábica como matriz

Se realizaron dos experiencias en secador *spray* en las condiciones indicadas en la Tabla 3.

Experiencia	1	2
Temperatura del aire de entrada (°C)	150	165
Caudal de alimentación	20	25
Concentración de ácido fólico en la alimentación (% m/m)	0,05	0,05
Concentración del material de pared (goma arábica) (% m/m)	0,09	0,09
Caudal de aire (l/h) en condiciones normales de presión y temperatura	1052	1052

Tabla 3. Condiciones de Operación de las experiencias de secado *spray* 1 y 2

En la Figura 4 se presenta el esquema de equipo de secado por atomización o *spray*, marca Büchi Mini Spray Dryer- Modelo B-290 y en la Figura 5 una foto del equipo usado.

1. Boca de aspiración que produce la entrada de aire. Consta de una resistencia que permite el calentamiento del aire y de esta manera modifica la temperatura del aire de entrada.
2. Entrada de corriente de aire estabilizada a la cámara de secado y a la boquilla que produce la aspersión de la emulsión líquida.
3. Cámara de secado que recoge el producto atomizado proveniente de la boquilla.
4. Ciclón para separar el producto (polvo) de la corriente de aire. Debajo se halla el recipiente de recolección del producto.
5. Filtro que evita que el aire expulsado a la atmósfera arrastre polvo.
6. Aspirador que genera la entrada de aire necesaria para el secado.

Microcápsulas de ácido fólico como núcleo en alginato de calcio como matriz

También se llevó a cabo la microencapsulación

del ácido fólico con alginato de calcio mediante la técnica de gelación o gelificación iónica. El esquema del procedimiento se detalla en la Figura 6.

El método de gelificación iónica consiste en suspender el compuesto que se va a encapsular en una solución acuosa de alginato sódico, adicionando esta mezcla, mediante goteo, sobre una solución de cloruro cálcico, que se encuentra sometida a una velocidad de agitación adecuada. Al entrar la gota de alginato sódico en contacto con el calcio, se produce la gelificación instantánea de la misma. La reacción que se produce es la siguiente:



Se preparó una solución acuosa de alginato de sodio al 2 % m/m y se suspendió en esta solución el ácido fólico en una concentración del 0.025% m/m. Con jeringa y aguja se goteó la solución de alginato de sodio con el principio activo sobre una solución del cloruro cálcico al 5 % m/m, siempre bajo agitación magnética

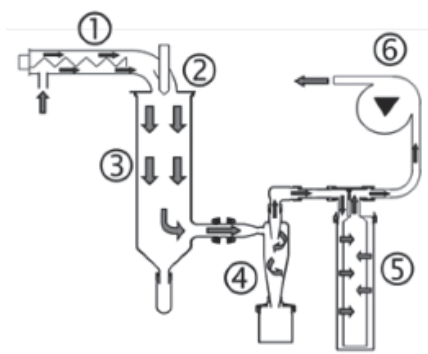


Fig. 4. Esquema del equipo de secado por atomización o *spray*



Fig. 5. Foto de equipo de secado *spray*

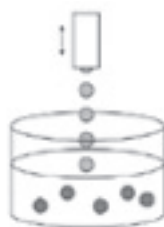


Fig. 6. Equipo para producir microcápsulas por gelificación iónica

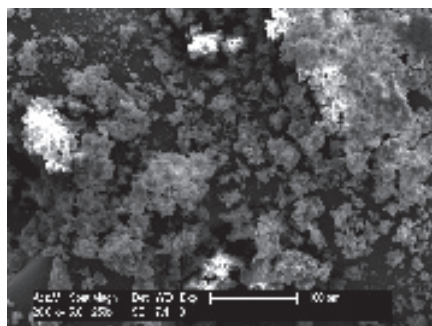


Fig. 7. Fotomicrografía correspondiente a las microcápsulas de ácido fólico y goma arábica en las condiciones de operación del secador *spray 1*

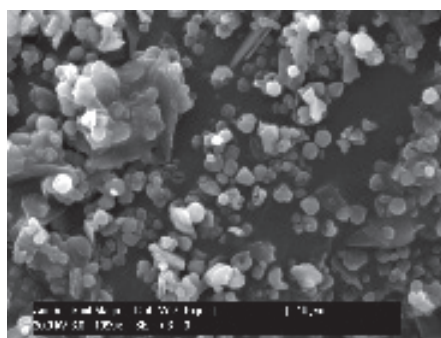


Fig. 8. Fotomicrografía correspondiente a las microcápsulas de ácido fólico y goma arábica en las condiciones de operación del secador *spray 2*

(700 rpm). Al finalizar el goteo, se filtraron las cápsulas y se enjuagaron con agua para arrastrar los restos de iones calcio de su superficie. Finalmente se secaron en estufa a 65°C hasta peso constante.

Se observaron las microcápsulas en un microscopio electrónico de barrido marca Philips SEM 505 y se obtuvieron las fotomicrografías correspondientes. Los datos que figuran al pie de las fotomicrografías indican de izquierda a derecha: el voltaje de trabajo, la magnificación y el valor del segmento en micrones.

Resultados y Discusión

En las condiciones de la experiencia de secado *spray 2* se trabajó a una mayor temperatura de entrada al secadero con el propósito de disminuir la humedad del producto final y evitar la aglomeración de las microcápsulas que se produce en la experiencia 1, como puede observarse en las fotomicrografías (Figuras 7 y 8). Además, se incrementó la velocidad de alimentación al secadero para aumentar el tamaño de las partículas ya que en las condiciones de secado *spray 1*, el polvo obtenido era demasiado fino y por consiguiente, indeseable

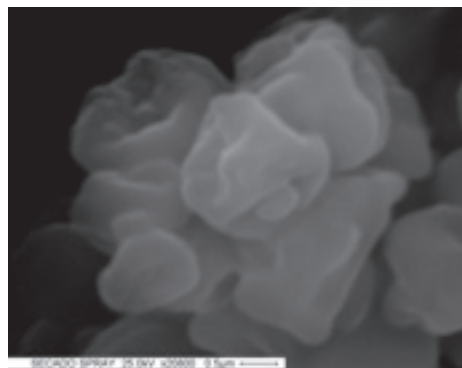
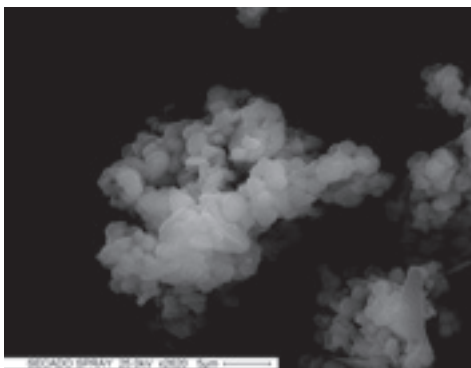


Fig. 9. a) Grupo de microcápsulas b) Parte del grupo de microcápsulas

en el caso que se utilice para enriquecer harinas que poseen mayor tamaño de grano. En la Figura 9 se presentan dos fotomicrografías a) y b) en la que se observaron un grupo de microcápsulas con mayor magnificación. Con el secado *spray* se obtuvieron microcápsulas del orden de 1 – 2 μm .

Las cápsulas con alginato de calcio como recubrimiento poseen paredes con poros en su superficie, tal como se puede apreciar en la Figura 10. En la Figura 11 se observa la estructura de uno de los poros superficiales y se pueden distinguir a su vez poros internos. La Figura 12 muestra las paredes internas del poro con

zonas más oscuras que se corresponden con elevadas concentraciones de ácido fólico distribuido de manera bastante regular en toda la superficie de los poros internos. La superficie externa de la cápsula con algunas grietas o fracturas se puede apreciar en la Figura 13. No se observan puntos de concentración de ácido fólico, sólo alginato de calcio. También se observan algunos cristales de calcio sobre la superficie de las cápsulas tal como se puede distinguir más nítidamente en la Figura 14. Las dimensiones de las partículas obtenidas por gelificación iónica son del orden de 800-900 μm y bastante similares en tamaño y porosidad.

Micrografías gelificación iónica

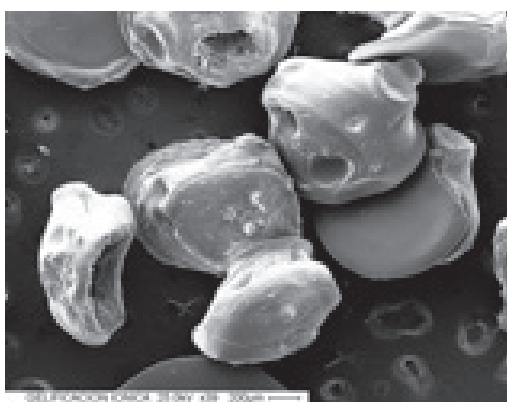


Fig. 10.

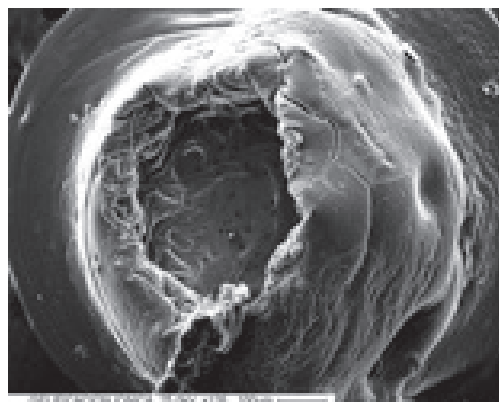


Fig. 11.

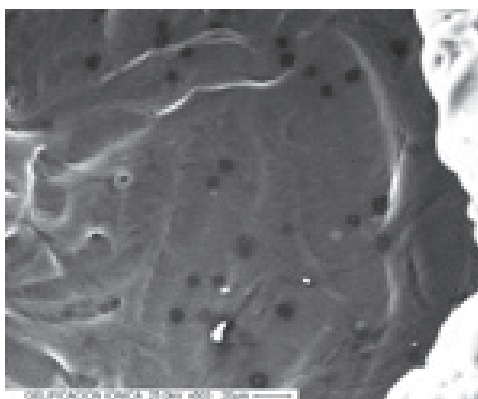


Fig. 12.

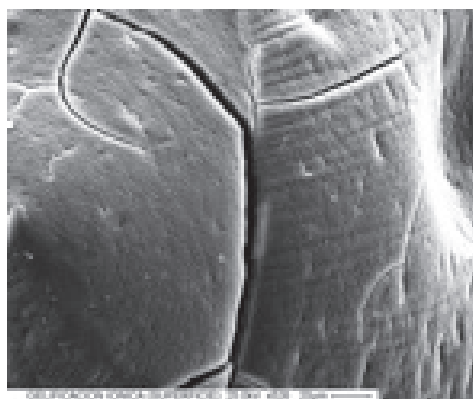


Fig. 13.

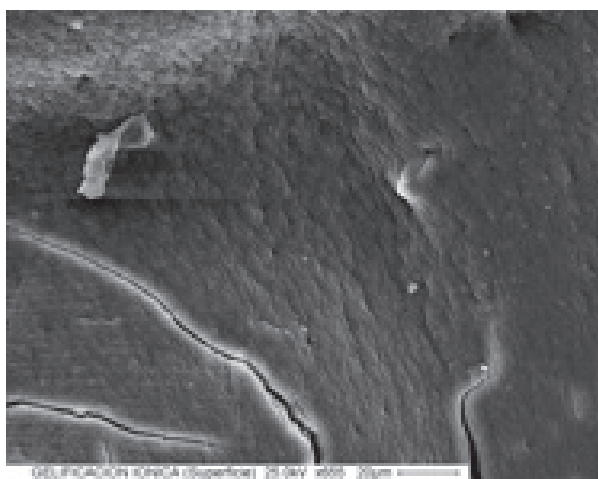


Fig. 14.

Conclusiones

En posteriores experiencias de secado *spray* se deberá disminuir la velocidad del aire, incrementar la velocidad de alimentación y aumentar la concentración de sólidos en la emulsión de alimentación para producir partículas de tamaño superior, de granulometría similar al material con el que se quiera mezclar las cápsulas de ácido fólico. De este modo, el ácido fólico se podrá distribuir de manera homogénea en el producto que quiera enriquecerse, como puede ser el caso de una harina.

Agradecimientos

A la Lic. Ana Celeda y a la Srta. Elizabeth Cáceres del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), por permitirnos el uso del equipo de secado por atomización.

Referencias

- ÁNGELES, L., (2009) Dimensionamiento y Simulación de un Secador por Aspersión de Nivel Piloto. México: Tesis de Maestría en Ciencias en Bioprocesos. México D.F. Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología.
- DESAI, K. G. H. y PARK, H. J., (2005) Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology*, 23, 1361-1394.
- GIBBS, B. F.; KERMASHA, S.; ALLI, I. y MULLIGAN, C. N., (1999) Encapsulation in the food industry: A review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 50, 213-224.
- GOUIN, S., (2004) Micro-encapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science and Technology*, 15, 330-347.
- KING, Y. D. y MORR, C. V., (1996) Microencapsulation properties of gum Arabic and several food proteins: Spray-dried orange oil emulsion particles. *Journal of Agricultural and food Chemistry*, 44, 1314-1320.
- KING, A. H., (1995) Encapsulation of food ingredients. A review of available technology, focusing on hydrocolloids. In S.J. Risch and G. A. Reineccius (Eds)., *Encapsulation and controlled release of food ingredients*. ACS symposium series (vol. 590, pp 26-39), Washington, DC: American Chemical Society.
- LIU, Z.; ZHOU, J.; ZENG, Y. y OUYANG, X., (2004) The enhancement and encapsulation of *Agaricus bisporus* flavor. *Journal of Food Engineering*. 65, 301-396
- MADENE, A.; SCHER, J. y DESORBY, S., (2006) Flavour encapsulation and controlled release- a review. *International Journal of Food Science and Technology* 4 (1): 1-21.
- ROSENBERG, M.; KOPELMAN, I.J. y TALMON, Y., (1990) Factors affecting retention in spray drying microencapsulation of volatile materials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38, 1288-1294.
- SHAHIDI, F. y HAN, X. Q., (1993) Encapsulation of food ingredients. *Critical Review in Food Science and nutrition*, 33, 501-547.

Remoción de arsénico en agua mediante materiales de bajo costo y segura disposición final

Jorge Martín Meichtry¹, Elizabeth Graciela De Seta^{1,2}, Fernando Damián Reina¹, Fernando Isaac Mugaribí¹ y Esteban José Domingo^{1,3}

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Química¹, UDB-Química², Departamento Ingeniería Civil³, Medrano 951 (C1179AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

meichtry@cnea.gov.ar

Recibido el 13 de mayo de 2015, aprobado el 1° de julio de 2015

Resumen

Se estudió la capacidad de remoción de arsénico mediante adsorción y/o co-precipitación empleando materiales económicos como arcilla natural y hierro cerovalente (Fe(0)) comercial, microparticulado y como viruta. Se realizaron experimentos de remoción de As(III) y As(V) presente en soluciones acuosas ($[As]_0 = 5 \text{ mg L}^{-1}$, pH 7), empleando concentraciones variables de arcilla y Fe(0); para el caso de la arcilla, se estudió la cinética de remoción y el efecto del pH ($5,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$). También se estudió la lixiviación del As retenido en los residuos generados, los cuales fueron sometidos previamente a distintos tratamientos térmicos. Se determinó que son necesarias concentraciones de 2,5% m/v de arcilla o 0,05% m/v de Fe(0) para lograr una remoción $\geq 95\%$ para ambas especies de As. Los estudios de remoción con arcilla indicaron que la cinética de adsorción de As(III) y As(V) respondió a un comportamiento bi-exponencial y que la remoción de As(V) por arcilla es mayor a valores ácidos, mientras que la presencia de materia orgánica (ácido cítrico) disminuye la remoción. En todos los casos, se observó una lixiviación despreciable para As(V), mientras que para As(III) es inferior al 3% del As total removido.

PALABRAS CLAVE: ARSÉNICO – REMOCIÓN - ARCILLAS NATURALES – HIERRO CEROVALENTE - LIXIVIACIÓN DE ARSÉNICO

Abstract

The objective of this work was to study the arsenic removal capacity of low cost materials, such as natural clay or zerovalent iron (Fe(0)), both as microparticulated material or as iron wool. Removal experiments for As(III) and As(V) ($[As]_0 = 5 \text{ mg L}^{-1}$, pH 7) with varying concentrations of clay and Fe(0) were performed. For clay, the kinetics of removal and the effect of pH ($5.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$) was studied. As leaching of the solid wastes generated and previously subjected to different heat treatments was also studied.

The results obtained indicate that concentrations of 2.5% m/v for clay or 0.05% m/v for both Fe(0) materials are required for As removals higher than 95% for both As(V) and As(III). The studies of arsenic removal with clay indicated that the adsorption kinetic fitted a bi-exponential model and that As(V) removal was higher at low pH values, while it was inhibited in the presence of organic matter (citric acid). In all cases, a negligible As(V) leaching was observed, whereas for As(III) it was less than 3% of total As removed.

KEYWORDS: ARSENIC – REMOVAL- NATURAL CLAYS - ZERO VALENT IRON - ARSENIC LEACHING

Introducción

Por razones geológicas naturales el agua subterránea puede contener elevadas concentraciones de arsénico inorgánico, haciéndola no apta para el consumo humano. Esta situación se presenta en diversas zonas de la República Argentina y afecta especialmente a regiones rurales o núcleos de población dispersa, no conectada a redes de agua potable. El agua es la principal ruta de exposición de las personas al arsénico, ya sea a través de la ingesta directa o a través de alimentos cultivados con esta agua.

El arsénico es acumulable en el organismo por exposición crónica, pudiendo ocasionar Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) así como también diversos tipos de cáncer. La concentración máxima permisible para arsénico en agua, establecida por la Organización Mundial de la Salud y el Código Alimentario Argentino, es de $10 \mu\text{g L}^{-1}$ (OMS, 2008), (CAA, 2007).

Existen diversos procesos para lograr el abatimiento de arsénico. La elección de uno de ellos dependerá de distintos factores: concentración de arsénico y de otros iones en el agua, tipo de fuente, geografía del lugar, disponibilidad y costo de los insumos, población a servir, etc. Entre los métodos aplicables en estos casos a la remediación de As (Litter y colaboradores, 2010) pueden mencionarse: a) procesos de coagulación-precipitación con sales de aluminio o hierro; b) adsorción con carbón activado, alúmina activada, arena, arcillas y compuestos de hierro (incluyendo el Fe cerovalente), siendo estos últimos los más eficientes; c) resinas de intercambio iónico; d) filtración por membranas (especialmente útil cuando el As se encuentra en forma particulada) y ósmosis inversa (Sharma y Sohn, 2009) (Newcombe y Moller, 2006) (Noubactep y colaboradores, 2010)

En áreas rurales se vienen desarrollando sistemas de abatimiento de arsénico utilizando arcillas naturales logrando remociones mayores al 95% (De Esparza, Wong de Medina, 1998). Estos tratamientos tienen la ventaja de su bajo costo y simplicidad de aplicación, pero requieren grandes dosis de arcilla para reducir la concentración de arsénico a valores iguales o inferiores a los recomendados por la OMS, lo que a su vez implica la generación de grandes cantidades de residuos sólidos que luego deben ser dispuestos; la estabilidad del arsénico

retenido en estos residuos resulta fundamental para determinar alternativas para su disposición final, ya que una lixiviación mayor a los límites fijados implica que los residuos deberán disponerse como residuos peligrosos.

Este trabajo estudió la remoción de As(V) y As(III) de diversas matrices acuosas, mediante procesos de adsorción y co-precipitación con materiales económicos, como arcillas naturales y hierro cerovalente. Además se estudió el efecto en la remoción de diversas variables experimentales como la acidez (pH) del medio y la presencia de materia orgánica, empleando ácido cítrico (Cit) como compuesto modelo. Se modeló la capacidad de remoción de los distintos materiales así como también la cinética de adsorción de As(V) y As(III) en arcilla. Por último, se evaluó la estabilidad de los residuos sólidos generados por el uso de arcilla naturales mediante estudios de lixiviación de arsénico.

Parte experimental

Materiales y métodos

La arcilla natural (laterita) utilizada en los experimentos fue extraída de la Provincia de Misiones; previo a su utilización fue procesada en mortero y tamizada en un filtro de malla 20 (tamaño de partícula inferior a 0,84 mm).

Se emplearon dos materiales de hierro cerovalente (Fe(0)): 1) hierro microparticulado ($\mu\text{Fe}(0)$) de alta pureza ($>99,8\%$), con un tamaño de partícula comprendido mayoritariamente ($> 95\%$) entre malla 20 (0,84 mm) y malla 200 (0,074 mm); 2) viruta de hierro comercial ($v\text{Fe}(0)$).

Los reactivos empleados fueron de calidad analítica; y el Agua destilada, empleada para preparar las soluciones conteniendo As a tratar, de baja conductividad.

En los experimentos realizados durante tres horas o menos se empleó agitación, provista mediante un agitador orbital con calefacción Ferca. Para tiempos mayores a tres horas no se usó agitación en los experimentos.

Caracterización de la arcilla

La composición de la arcilla se determinó mediante análisis elemental por ICP-OES, previa

disolución empleando un horno digestor de microondas ANTON PAAR Multiwave 3000 según el procedimiento descrito en las normas *US-EPA 3051 y 3052* (Agazzi y Pirola, 2000); los principales elementos involucrados en la remoción de As se cuantificaron por el método de estándar externo, con un espectrómetro de emisión óptica por plasma inductivamente acoplado (ICP-OES) marca PERKIN ELMER modelo Optima 2000 DV.

Además se realizó un estudio de caracterización de la arcilla mediante Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), empleando un equipo Q20 marca TA Instruments. Para ello se pesó aprox. 2 mg de muestra en cápsula hermética y se realizó una corrida a 10 °C/min, con atmósfera de N₂, con un flujo de 50 ml/min, desde temperatura ambiente hasta 550 °C.

La fracción de sólidos volátiles de la arcilla se determinó mediante calcinación de la muestra a 700 °C durante 5 horas en aire, con un horno eléctrico marca ORL, modelo H 701 L.

Ensayos de remoción de As

Con el objeto de evaluar la capacidad de remoción de As(V) de una solución acuosa, se realizaron experimentos con concentración inicial de As(V) constante y concentraciones variables de arcilla, $\mu\text{Fe}(0)$, $\nu\text{Fe}(0)$, y mezclas de arcilla y $\mu\text{Fe}(0)$, en erlenmeyers de 250 ml. 200 ml de solución de As (concentración= 5 mg L⁻¹) se colocaron en un Erlenmeyer y se ajustó al pH requerido empleando soluciones concentradas de HCl o NaOH (0,1 M); una vez ajustado el pH, se tomó una muestra (valor inicial) y finalmente se agregó la masa necesaria de material como sólido, determinada previamente mediante pesada, bajo fuerte agitación. Se tomaron muestras periódicas de 5 mL, las cuales fueron filtradas a través de un filtro de nitrato de celulosa (0,22 μm de poro) y 25 mm de diámetro, para analizar el grado de remoción de As(V) y/o As total. Los ensayos se realizaron a temperatura ambiente, entre 16 y 20 °C y el tiempo de reacción empleado fue de 24 h para la arcilla y 168 hs para el $\text{Fe}(0)$ y las mezclas de arcilla y $\text{Fe}(0)$.

Una vez determinada la concentración mínima necesaria de material absorbente para lograr una remoción mayor al 95% del As inicialmente presente, se estudió el efecto del pH de la

solución a tratar ($5,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$) en la remoción de As(V) y As(III).

En los experimentos empleando arcillas, una vez finalizado el ensayo se separó el sólido mediante solución y luego fue sometido a ensayos de desorción.

Cuantificación de As y Fe

La cuantificación de arsénico y hierro disueltos en las soluciones tratadas, luego del período de exposición a los mismo, se realizó mediante espectrofotometría de absorción molecular (espectrofotometría UV-Visible), con un espectrofotómetro de doble haz Shimadzu, modelo UV-1700, equipado con celdas de cuarzo de 1 cm de paso óptico.

La técnica empleada en la determinación de As(V) se basó en la norma ISO 6878-1 para la determinación de fosfatos en agua (Afnor, 1997) modificada por Lenoble y colaboradores (2003). La determinación de As(III) se realizó mediante determinación de As total por oxidación previa del As(III) con permanganato de potasio (KMnO_4), según Lenoble y colaboradores (2003).

La concentración de $\text{Fe}(\text{II})$ se determinó por formación del complejo con o-fenantrolina (Schilt, 1969). La concentración de $\text{Fe}(\text{III})$ se realizó por formación del complejo con el anión tiocianato (Woods, 1941).

Estudio de desorción de As

Los residuos sólidos obtenidos luego del tratamiento de As(V) y As(III) con arcilla fueron sometidos a distintos tratamientos térmicos: 1) secado en estufa a 30 °C por 168 h; 2) secado en estufa a 100 °C por 168 h, y 3) calcinación en horno a 700 °C por 5 h. A continuación, estas muestras fueron sometidas a experimentos de lixiviación consistentes en la suspensión en agua destilada a pH 7 de una concentración de 4 % m/v de arcilla durante 7 días a temperatura ambiente (16 – 20 °C) y bajo agitación. Luego se tomaron muestras y se analizó la concentración de As(V) y As(III) empleando los métodos descritos anteriormente.

Resultados y discusión

Caracterización de la arcilla

La concentración de los elementos aluminio y

Elemento	% p/p	% p/p como óxido
Aluminio $\lambda = 396,153 \text{ nm}$; $r = 0,999947$	$9,26 \pm 0,01$	17,50 % Al_2O_3
Hierro $\lambda = 238,204 \text{ nm}$; $r = 0,999995$	$3,98 \pm 0,01$	5,69 % Fe_2O_3

Tabla 1. Composición química de la arcilla

hierro, principales elementos constitutivos de la arcilla involucrados en la remoción de As (*De Vitre y colaboradores, 1991; Sullivan y Alle, 1996*), se muestran en la Tabla 1.

Las concentraciones de Al y Fe en la muestra de arcilla misionera (laterita) empleada como material adsorbente, son de igual orden a las obtenidas para muestras de suelos misioneros en otros estudios geológicos relacionados con el abatimiento de arsénico, donde predominan la caolinita y beidellita (ambos minerales ricos en Al_2O_3) como componente mayoritario, junto a óxidos de silicio, hierro y otros constituyentes menores (Fernandez Turiel y colaboradores, 2005).

Los sólidos volátiles, determinados por pesada antes y después de la calcinación a 700°C constituyen el 7% m/m del total de la muestra.

El termograma correspondiente a la arcilla empleada como material adsorbente (Figura 1) presenta 2 endotermas característicos. El primero, que se extiende entre los 50 y a 100°C , es debido a la evaporación de la humedad adsorbida. En segundo, con máximo en 506.62°C se debe

a la deshidroxilación de los grupos hidroxilo de la arcilla, según Escalera Mejia (2013), confirmando la presencia de óxidos de Al.

Capacidad de remoción

El análisis de la capacidad de remoción de As(V) empleando arcilla, hierro cerivalente o su mezcla se realizó empleando distintas concentraciones de estos materiales siguiendo el procedimiento descrito en la sección experimental. A continuación, la mezcla se dejó bajo agitación y se tomaron muestras periódicas hasta que no se observaron cambios en la concentración de As en muestras sucesivas. Se consideró a dicha concentración la correspondiente al equilibrio del sistema. Para las muestras de arcilla esta concentración de equilibrio se alcanzó a las 24 h, mientras que para las muestras de Fe(0) este tiempo fue de 168 h. Los resultados obtenidos se indican en la Figura 2.

Se puede apreciar que para una remoción de As(V) $\geq 95\%$ se requiere $[\text{arcilla}] \geq 2,5\%$, $[\mu\text{Fe}(0)] \geq 0,05\%$ y $[\text{vFe}(0)] \geq 0,5\%$, por lo que puede concluirse que el material más eficiente es el $\mu\text{Fe}(0)$. En todos los casos se ob-

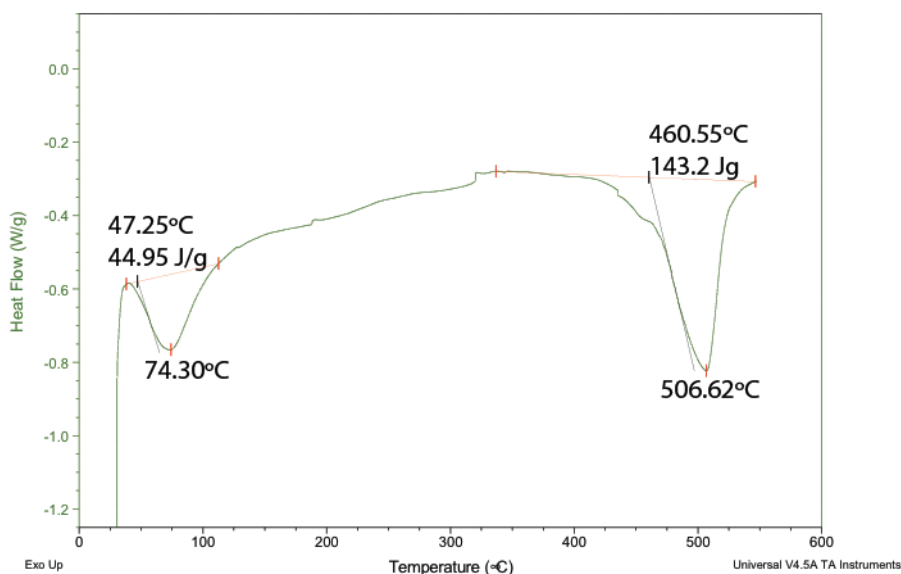


Fig. 1. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) de arcilla misionera

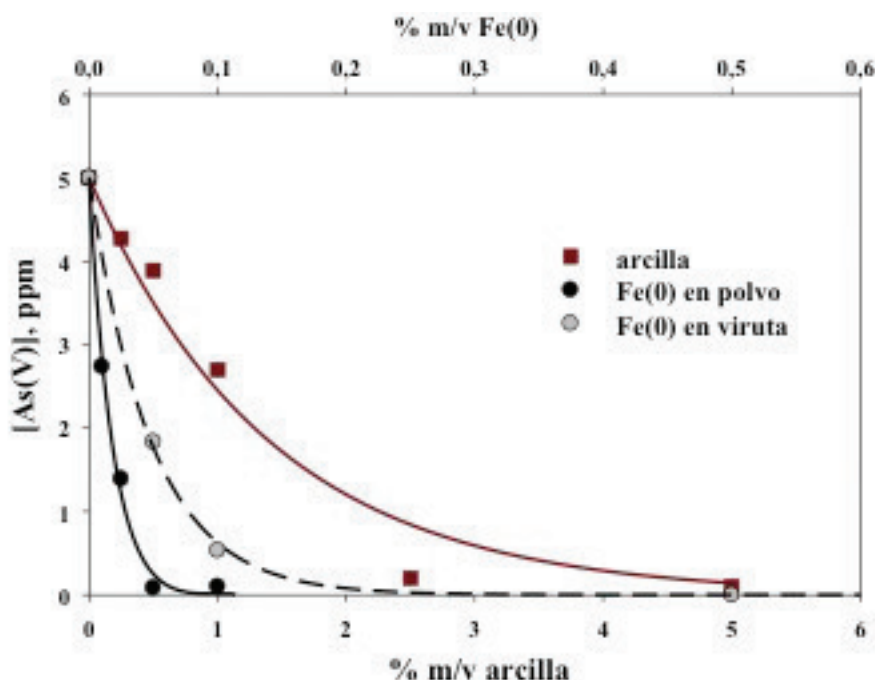


Fig. 2. Efecto de la masa de adsorbente en la concentración de As(V) en solución.

Condiciones: $[\text{As(V)}]_0 = 5 \text{ mg L}^{-1}$, pH 7 (cte.), $T = 20^\circ \text{C}$. Tiempo de reacción: 24 h para arcilla, 168 h para $\mu\text{Fe(0)}$ y $\nu\text{Fe(0)}$. Líneas sólidas: ajuste de los resultados experimentales a la ecuación (1)

servó una relación entre la concentración de As(V) remanente en solución y la concentración de material utilizado, la cual se ajustaba según la ecuación (1):

$$[\text{As(V)}]_s = [\text{As(V)}]_R \times \exp^{-\alpha \cdot \% \text{m/v}} + [\text{As(V)}]_\infty \quad (1)$$

Donde:

$[\text{As(V)}]_s$ representa la concentración de As(V) en solución,

$[\text{As(V)}]_R$ la concentración de As(V) removible por adsorción,

α es una constante de primer orden que indica la eficiencia de cada adsorbente y $[\text{As(V)}]_\infty$ representa al As(V) no removible por adsorción.

Los parámetros de ajuste de los resultados de la Figura 2 con la ecuación (1) se muestran en

la Tabla 2.

Para todos los materiales estudiados, $[\text{As(V)}]_\infty = 0$ y $[\text{As(V)}]_R = 5 \text{ mg L}^{-1}$, lo que indica que con una concentración de material adecuada es posible lograr una remoción de As(V) mayor o igual a 95%. También se observa que el mayor valor de α corresponde a $\mu\text{Fe(0)}$, indicando que este material es casi 100 veces más eficiente que la arcilla para remover As(V). Debe considerarse que la remoción de As(V) empleando Fe(0) tiene lugar en sus productos de corrosión, siendo este proceso el limitante en la velocidad de remoción (Morgada y Litter, 2010); el tiempo de reacción obtenido (168 h) no implica necesariamente un tiempo de residencia del proceso, ya que es posible obtener una corrosión previa del Fe(0).

Adsorbente	$[\text{As(V)}]_R$ mg L^{-1}	$[\text{As(V)}]_\infty$ mg L^{-1}	$\alpha, (\% \text{ m/v})^{-1}$	R^2
arcilla	$5,0 \pm 0,1$	0	$0,71 \pm 0,09$	0,971
$\mu\text{Fe(0)}$	$5,0 \pm 0,2$	0	57 ± 3	0,995
$\nu\text{Fe(0)}$	$5,0 \pm 0,1$	0	$20,9 \pm 0,8$	0,999

Tabla 2. Parámetros de ajuste de la ecuación (1) a los datos de la Figura 1

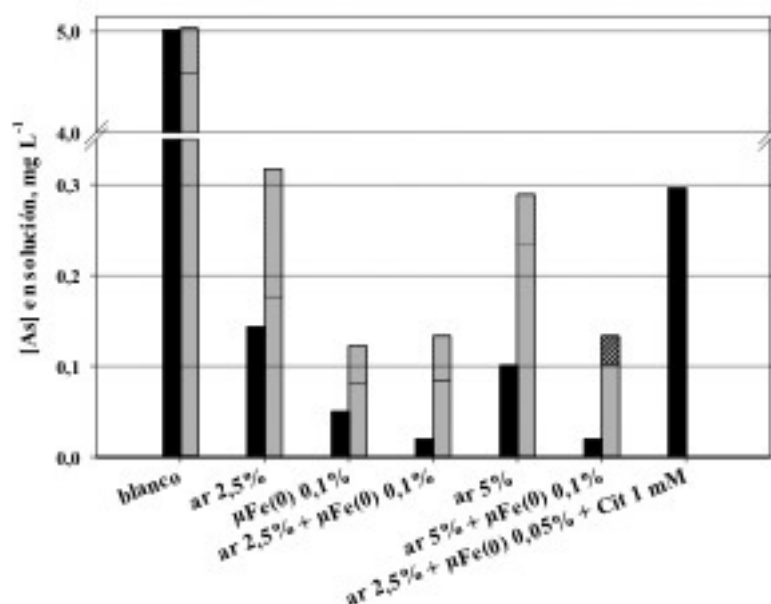


Fig. 3. Capacidad de remoción de As de la arcilla y de Fe(0) microparticulado

Condiciones: $[\text{As(V)}]_0 = 5 \text{ mg L}^{-1}$, pH 7 (cte.), $T = 20^\circ \text{C}$. Tiempo de reacción: 168 h. As(V), 648 hs As(III). Barras negras: experimentos con As(V); barras grises: experimentos con As(III) (barras grises lisas representan el As(III) remanente, la barra gris a rayas representa el As(V) en solución formado por oxidación de As(III)).

A continuación, se realizaron ensayos de remoción de As(V) y As(III) combinando arcilla y $\mu\text{Fe(0)}$ en las concentraciones óptimas obtenidas anteriormente; también se analizó el posible efecto de la presencia de materia orgánica empleando ácido cítrico como compuesto modelo; la concentración de As corresponde al valor de pseudo-equilibrio (168 y 648 hs de reacción para As(V) y As(III), respectivamente). Los resultados se indican en la Figura 3.

Tal como se mostró en la Figura 2 y en la Tabla 2, las mayores remociones se alcanzan con $\mu\text{Fe(0)}$, llegándose a valores por debajo del límite de detección en el caso de As(V); su combinación con arcilla no aumenta de forma significativa la remoción total. La arcilla sola es efectiva en remover As, pero su capacidad es inferior y requiere una masa de adsorbente significativamente mayor. Se observa una transformación parcial del As(III) a As(V), posiblemente debido a la acción del O_2 del aire. En ningún caso se detectó la presencia de Fe en solución, ya sea como Fe(II) o Fe(III).

Cinética de adsorción de As en arcilla

Los estudios cinéticos para evaluar la veloci-

dad de remoción de As(V) y As(III) en diferentes concentraciones de arcilla demuestran que la evolución temporal de la concentración de As en solución se ajusta a un modelo biexponencial, según la ecuación (2)

$$[\text{As}]_s = A_1 \times \exp^{-t/t_1} + A_2 \times \exp^{-t/t_2} + [\text{As}]_\infty \quad (2)$$

Donde:

$[\text{As}]_s$ representa la concentración de As en solución,

A_1 y A_2 representan el As removido por los procesos 1 y 2,

t_1 y t_2 son los tiempos característicos de los procesos 1 y 2, y

$[\text{As}]_\infty$ representa al As no removible por adsorción.

Este modelo propone la existencia de dos tipos distintos de sitios de adsorción de As, uno que adsorbe más rápidamente, definido como proceso 1, y otro más lento definido como proceso 2.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3 y en la Figura 4.

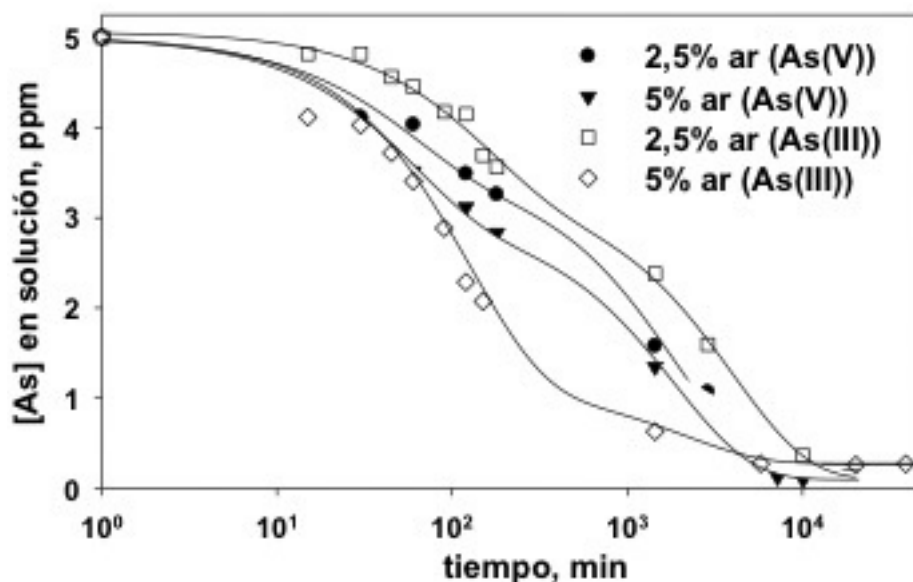


Fig. 4. Cinética de adsorción de As(V) y As(III) en arcilla

Condiciones: $[As(V)]_0 = 5 \text{ mg L}^{-1}$, pH 7 (cte.), $T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Experimento	$A_1, \text{ mg L}^{-1}$	$t_1, \text{ min}$	$A_2, \text{ mg L}^{-1}$	$t_2, \text{ min}$	$[As]_{\infty}, \text{ mg L}^{-1}$	R^2
2,5% arc (As(V))	$1,5 \pm 0,3$	56 ± 25	$3,3 \pm 0,3$	1860 ± 310	$0,2 \pm 0,1$	0,996
5% arc (As(V))	$2,1 \pm 0,2$	57 ± 25	$2,8 \pm 0,1$	1890 ± 310	$0,10 \pm 0,05$	0,991
2,5% arc (As(III))	$1,8 \pm 0,2$	150 ± 46	$3,2 \pm 0,26$	4005 ± 1334	$0,10 \pm 0,26$	0,997
5% arc (As(III))	$3,9 \pm 0,7$	122 ± 32	$0,82 \pm 0,1$	1972 ± 950	$0,28 \pm 0,12$	0,996

Tabla 3. Parámetros de ajuste de la ec. (2) a los datos de la Figura 3

Los mismos se ajustan a la ecuación 2, donde se aprecian claramente dos procesos con tiempos característicos t_1 y t_2 , que difieren en más de 1 orden de magnitud. Asimismo se observa que al incrementarse la concentración de arcilla aumenta la proporción del As removido por el proceso rápido (A_1). Estos resultados indican que puede asumirse que existen 2 tipos de sitios en la arcilla, uno más fácilmente accesible asociado con el proceso 1, y otro menos accesible asociado con el proceso 2.

Los valores de t_1 son mayores para As(III), lo que puede relacionarse con una menor afinidad de esta especie por los óxidos de Al y Fe de la arcilla, haciendo más lento el proceso de adsorción.

Debe destacarse que, para todas las condiciones estudiadas, los valores de t_1 obtenidos indican que, utilizando una concentración de arcilla adecuada, podría lograrse en 3 h un

tratamiento apropiado de un agua conteniendo 1 mg L^{-1} de As (concentración máxima de As en la gran mayoría de las fuentes de agua normalmente utilizadas), independientemente de la especie química de As.

Procesos equivalentes de adsorción de As(V) en suelos han sido reportados previamente por Zhang y Selim (2005) y Smith y Naidu (2009), con una etapa inicial rápida que es seguida de un proceso notoriamente más lento. Zhang y Selim asignan este comportamiento a la presencia de múltiples equilibrios con tres sitios de adsorción distintos, lo que resulta en un modelo cinético más complejo que la ecuación (2); por su parte, Smith y Naidu no ajustan sus resultados experimentales a ningún tipo de cinética. La decisión de emplear el modelo cinético de la ecuación (2) se justifica por su mayor simplicidad y excelente ajuste a los resultados experimentales obtenidos.

Los valores de A_{∞} , si bien son superiores al

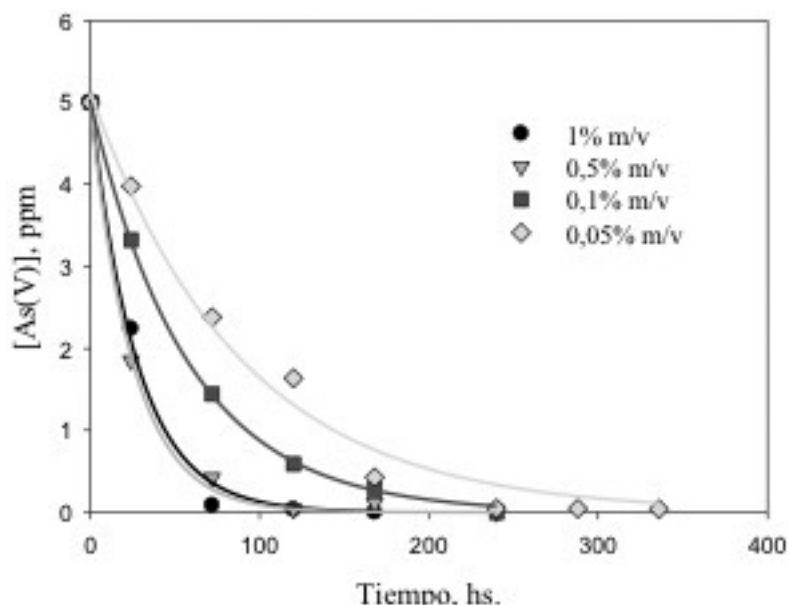


Fig. 5. Cinética de adsorción de As(V) con $\mu\text{Fe}(0)$

Condiciones experimentales: $[\text{As(V)}]_0 = 5 \text{ mg L}^{-1}$, pH 7, $T = 20^\circ \text{C}$ (cte.), con agitación orbital.

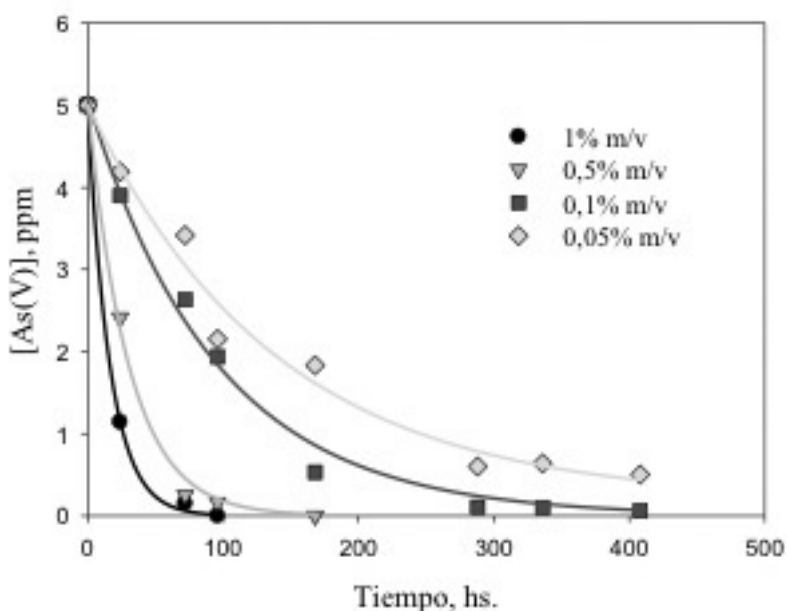


Fig. 6. Cinética de adsorción de As(V) con viruta de Fe(0) comercial

Condiciones experimentales: $[\text{As(V)}]_0 = 5 \text{ mg L}^{-1}$, pH 7, $T = 20^\circ \text{C}$ (cte.), con agitación orbital.

límite recomendado por la OMS, se encuentran dentro del error de la técnica analítica empleada; debe mencionarse que también es posible un aporte de P(V) de la arcilla por desplazamiento de este anión de parte del As(V) (Violante y Pigna, 2002) produciendo un error por exceso en la determinación de As(V) y As total.

de remoción de As(V) con diferentes concentraciones de $\mu\text{Fe}(0)$ y vFe(0) demuestran que la evolución temporal de la concentración de As en solución se ajusta a un modelo mono-exponencial, según la ecuación (3)

$$[\text{As}]_s = A_1 \times \exp^{-t/t_1} + [\text{As}]_\infty \quad (3)$$

Cinética de la remoción de As(V) con Fe(0)

Los estudios cinéticos para evaluar la velocidad

Los parámetros de la ecuación (3) tienen el mismo significado que los de la ecuación (2). Los resultados de los experimentos cinéticos

Experimento	A ₁ mg L ⁻¹	t ₁ min	[As(V)] _∞ mg L ⁻¹	R ²
0,05% μFe(0)	5,0	90 ± 6	0	0,985
0,10% μFe(0)	5,0	58 ± 1	0	1
0,5% μFe(0)	5,0	30 ± 1	0	0,999
1% μFe(0)	5,0	23 ± 1	0	0,998
0,05% vir Fe(0)	4,8 ± 0,1	140 ± 30	0,2 ± 0,1	0,972
0,10% vir Fe(0)	5,0	96 ± 5	0	0,992
0,5% vir Fe(0)	5,0	30 ± 2	0	0,996
1% vir Fe(0)	5,0	16,0 ± 0,5	0	1

Tabla 4. Parámetros de ajuste de la ecuación (3) a los datos de las Figuras 5 y 6

pH inicial	pH final	[As(V)] remanente, mg L ⁻¹
5,5	5,80	0,87
6,4	6,44	1,58
7,0	6,85	1,56
8,5	7,40	1,94

Tabla 5. Efecto del pH en la remoción de As(V) por tratamiento con arcilla

se muestran en las Figuras 5 (para μFe(0)) y 6 (para vFe(0)), utilizando diferentes concentraciones de Fe(0). En la Tabla 4 se muestran los ajustes de estos resultados a la ecuación (3).

En ambos casos la remoción es rápida y su velocidad aumenta con la masa de hierro utilizada como material adsorbente.

Excepto para vFe(0) 0,05%, para ambos materiales se observa una remoción completa de As(V) en todas las condiciones experimentales estudiadas. A bajas concentraciones de Fe(0) ($\leq 0,10\%$), se observa que la remoción es más rápida con μFe(0) (menor t₁), lo que puede asociarse con la mayor área superficial de este material; a altas concentraciones de Fe(0) esta ventaja desaparece, y los materiales presentan velocidades de remoción similares.

La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos

al evaluar el efecto del pH en la capacidad de la arcilla, a una concentración de 2,5%, para remover As(V) luego de 24 h de reacción.

Se evidencia mayor remoción a menor pH, es decir, en medio ácido, posiblemente debido al efecto de una mayor atracción electrostática entre el anión H₂AsO₄ presente mayoritariamente a $5,5 < \text{pH} < 6,0$, y a los grupos oxohidróxidos metálicos de la arcilla (Fe, Al) responsables de la remoción de As por adsorción (Litter y colaboradores, 2010). Este efecto del pH en la remoción de As(V) en montmorillonita, caolinita e illita, minerales normalmente presentes en arcillas, ha sido reportado previamente (Goldberg, 2002). Puede destacarse que la arcilla contribuye a neutralizar el pH del agua tratada.

En la Tabla 6 se muestran los resultados de experimentos equivalentes realizados con As(III) y la concentración de As(V) formado a partir de la oxidación parcial del As(III).

pH inicial	pH final	[As(III)] remanente, mg L ⁻¹	[As(V)] remanente, mg L ⁻¹
5,5	5,4	2,47	0,04
7,0	6,0	2,65	0,04
8,5	6,1	2,93	0,12
10,3	7,9	2,98	0,26

Tabla 6. Efecto del pH en la remoción de As(III) por tratamiento con arcilla

La dependencia de la capacidad de adsorción de As(III) con el pH sigue la misma tendencia observada para As(V), con una disminución en el As(III) adsorbido al aumentarse el pH, lo cual también puede asignarse a menor afinidad entre la superficie con carga eléctrica crecientemente negativa de los óxidos y el As(III) (neutro a valores de pH inferiores a 9,2 (Bundschuh y colaboradores, 2008).

Se observa también una mayor concentración de As(V) remanente a pH alcalinos, lo cual puede relacionarse con la desorción por adsorción competitiva de iones hidróxido del As(V) formado de la oxidación del As(III) adsorbido en la arcilla (Jackson y Miller, 2000); la posible oxidación del As(III) por el oxígeno disuelto puede descartarse debido a la lenta cinética de esta reacción (Bundschuh y colaboradores, 2008), (Smedely y Kinniburgh, 2002).

Estabilidad del As(V) adsorbido en los materiales

Los resultados obtenidos en los ensayos de desorción del As adsorbido en las arcillas, se muestran en la Tabla 7, donde los valores de % de lixiviado se expresan como concentración

de la especie As(V).

La desorción de As(V) en las muestras secadas a 30 y 100 °C es prácticamente despreciable mientras que en las muestras calcinadas se detecta un mayor porcentaje desorbido. Este aumento podría atribuirse a una modificación superficial en la arcilla y/o a la desorción de especies de P(V) procedentes de la materia orgánica calcinada, las cuales interfieren en la técnica analítica empleada (Lenoble, 2003). Se observa también, que la desorción en las muestras de residuo arcilloso con As(III) es mayor y se encuentra mayoritariamente liberado como As(V).

Conclusiones

Se caracterizó la arcilla empleada como adsorbente, identificando aluminio y hierro como material activo en la remoción del arsénico.

Los modelos de capacidad de remoción de As(V) en función de masa de adsorbente obtenidos para arcilla, $\mu\text{Fe}(0)$ y $\nu\text{Fe}(0)$ permitieron determinar que el $\mu\text{Fe}(0)$ es el material más efectivo.

Tratamiento	Muestra con As(V)	% de As lixiviado	Muestra con As(III)	% de As lixiviado
Secado a 30 °C durante 7 días	2,5% m/v	0,42	2,5% m/v	3,70 77% como As(V)
	5% m/v	0,42	5% m/v	6,69 87% como As(V)
Secado a 100 °C durante 7 días	2,5% m/v	0,21	2,5% m/v	1,49 76% como As(V)
	5% m/v	0,35	5% m/v	3,15 94% como As(V)
Calcinación a 700 °C durante 3 horas	2,5% m/v	4,4	2,5% m/v	9,10 55% como As(V)
	5% m/v	21	5% m/v	11,12 98% como As(V)

Tabla 7. Estudio de desorción de As de arcilla

Estudios similares realizados con As(III) indican que su remoción es menos eficiente que la de As(V) necesitándose de una oxidación previa a As(V) para completar el proceso.

es mayor al aumentar la acidez del agua tratada, posiblemente debido a una mayor afinidad de estas especies por los óxidos que constituyen los componentes activos de la arcilla.

El comportamiento de tipo bi-exponencial observado en la cinética de adsorción en arcilla para ambas especies de arsénico podría estar asociado a dos tipos de sitios de adsorción. Se evidencia, además, un período de inducción inicial para el caso de As(III), que podría deberse a la necesidad de una oxidación parcial previa a la adsorción. La remoción As(V) y As(III) de soluciones acuosas empleando arcilla misionera

La desorción de As de arcillas empleadas previamente para adsorber As(V) de soluciones acuosas es despreciable. No así en arcillas con As(III) adsorbido en etapas de abatimiento de soluciones acuosas, donde la concentración de As por desorción es elevada. Más estudios son necesarios para evaluar si la especie desorbida de la arcilla calcinada es As(V) o P(V).

Referencias

- AFNOR, (1997). Determination de la concentration en phosphate - Ammonium molybdate spectrometric method. Norma ISO 6878-1:1986, Tomo 3, 265–290, París, Francia.
- AGAZZI, A.; PIROLA, C., (2000). Fundamentals method and future trends of environmental microwave sample preparation. *Microchemical Journal* 67, 337-341
- BUNDSCHUH, J. ; PEREZ CARRERA, A. y LITTER, M.I., (2008). Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana. *IBEROARSEN CYTED* (Ed.). ISBN: 13 978-84-96023-61-1
- CAA (Código Alimentario Argentino), (2007). Modificación de los Artículos 982 y 983, Buenos Aires, Argentina.
- DE ESPARZA, M. L. y WONG DE MEDINA, M., (1998). Abatimiento de arsénico en aguas subterráneas para zonas rurales. XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, CEPIS/OPS. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/acrobat/percca02.pdf>
- DE VITRE, R. ; BELZILE, N. y TESSIER, A., (1991). Speciation and adsorption of arsenic on diagenetic iron oxyhydroxides. *Limnol. Oceanogr.* 36, 1480–1485;
- ESCALERA MEJIA, E., (2013). "Characterization of Some Natural and Synthetic Materials With Silicate Structures". Luleå University of Technology, Department of Engineering Sciences and Mathematics. Printed by Universitetsstryckeriet, Luleå. ISSN: 1402-1757, ISBN 978-91-7439-553-2
- FERNÁNDEZ TURIEL, J. L.; PARADA M. A. y GIMENO TORRENTE, D., (2005). Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. Taller. II Seminario Hispano latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea IV. Congreso Hidrogeológico Argentino, Río Cuarto. Argentina. Ed. Galindo, 182 pp. ISBN 9870500587.
- GOLDBERG, S., (2002). Competitive adsorption of arsenate and arsenite on oxides and clay minerals. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 413–421.
- HOLL, W. y LITTER M., (2010). "Ocurrencia química del arsénico en aguas. Sumario de tecnologías de remoción de arsénico de aguas. *IBEROARSEN CYTED* (Ed.). Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana. ISBN: 978-84-96023-74-1.
- JACKSON, B. P. y MILLER, W. P., (2000). Effectiveness of Phosphate and Hydroxide for Desorption of Arsenic and Selenium Species from Iron Oxides. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 1616–1622.
- LENOBLE, V.; DELUCHAT, V.; SERPAUD, B. y BOLLINGER, J.C., (2003). Arsenite oxidation and arsenate determination by the molybdene blue method. *Talanta* 61, 267–276.
- LITTER, M. I.; MORGADA, M. E. y BUNDSCHUH, J., (2010). Possible treatments for arsenic removal in Latin American waters for human consumption,. *Environ. Pollut.* 158, 1105-1118;
- LITTER, M. I.; SANCHÁ, A. M. y INGALLINELLA, A. M., (2010). Tecnologías Económicas para el Abatimiento de Arsénico en Aguas. *IBEROARSEN, CYTED* (ed.), Argentina; Bhattacharya, P., Welch, A. H., Stollenwerk, K. G., McLaughlin, M. J., Bundschuh, J., Panuallah, G., 2007. Arsenic in the environment: Biology and Chemistry. *Sci. Total Environ.* 379, 109–120.
- MORGADA, M. E. y LITTER M., (2010). "Tecnologías fotoquímicas y solares para la remoción de arsénico de soluciones acuosas. Estado de arte". *IBEROARSEN CYTED* (Ed.). Distribución del arsénico en las

regiones Ibérica e Iberoamericana. ISBN: 978-84-96023-74-1.

NEWCOMBE, R. L. y MÖLLER, G., (2006). Arsenic Removal from Drinking Water: A Review. Blue Water Technologies, Inc. Hayden, ID.

NOUBACTER, C.; CARÉ, S.; TOGUE-KAMGA, F.; SCHÖNER, A. y WOAFO, P., (2010). Extending service life of household water filters by mixing metallic iron with sand. *CLEAN – Soil, Air and Water* 38, 951–959.

OMS (Organización Mundial de la Salud), (2008). Guidelines for Drinking-water Quality, 3ra ed. WHO (ed.), Ginebra, Suiza.

RAMOS R. (2010). "Fundamentos de adsorción en sistemas líquido sólido" IBEROARSEN CYTED (Ed.). Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana. ISBN: 978-84-96023-74-1.

SCHILT, A. A., (1969). Analytical applications of 1,10-phenanthroline and related compounds, 1ra ed. Pergamon (ed.), Oxford, Gran Bretaña.

SHARMA, V. K. y SOHN, M., (2009). Aquatic arsenic: Toxicity, speciation, transformations, and remediation, *Environ. Intern.* 35, 743–759.

SMEDLEY, P. L. y KINNIBURGH, D. G. (2002). A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters. *Appl. Geochem.* 17, 517–568.

SMITH, E. y NAIDU, R., (2009). Chemistry of inorganic arsenic in soils: kinetics of arsenic adsorption–desorption. *Environ. Geochem. Health* 31, 49–59.

SULLIVAN, K.A. y ALLE, R.C., (1996). Diagenetic cycling of arsenic in Amazon shelf sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 60, 1465–1477.

VIOLANTE, A. y PIGNA, M., (2002). Competitive sorption of arsenate and phosphate on different clay minerals and soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1788–1796.

WOODS, J.T. y MELLON, M. G., (1941). Thiocyanate method for iron. A spectrophotometric study. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 13, 551–554.

ZHANG, H. y SELIM, M., (2005). Kinetics of arsenate adsorption - desorption in soils. *Environ. Sci. Technol.* 39, 6101–6108.

Desarrollo de un modelo teórico matemático y simulación del sistema electromecánico para la captación de la energía undimotriz

Mario Pelissero, Pablo Alejandro Haim, Federico Muiño, Francisco Galia, Roberto Tula¹

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Mecánica, Medrano 951 (C1179AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

undimotriz@gmail.com

Recibido el 10 de junio de 2014, aprobado el 8 de agosto de 2014

Resumen

A partir del estudio del recurso energético undimotriz en el mundo y en nuestro país se creó un proyecto de investigación a los efectos de su captación para su transformación en energía eléctrica. A partir de esta propuesta se desarrollará a continuación un modelo teórico del sistema electromecánico de captación haciendo uso del software Simulink de Matlab. Esta herramienta nos permite recrear las condiciones del lugar donde estará situado el dispositivo y además obtener valiosa información de la energía capaz de ser aprovechada.

PALABRAS CLAVE: UNDIMOTRIZ – ENERGÍA – SIMULACIÓN – MODELIZACIÓN - SCADA

Abstract

From the study of the wave energy resource in the world and in our country, a research project for the purpose of its collection for conversion into electrical energy was started. In order to develop this proposal, a theoretical model of an electromechanical feedback system using the Matlab Simulink software is created. This tool allows to recreate the conditions of the place where the device will be located and also to gather valuable information about the energy that could be harnessed.

KEYWORDS: WAVE – ENERGY – SIMULATION – MODELLING - SCADA

¹ Han colaborado con este trabajo: Guillermo Oliveto, Ana Julia Lifschitz, Diego Gagnieri, Emiliano Cirelli, Mariano Montoneri, Gustavo De Vita, Ezequiel Heinke, Emiliano Cirelli, Tomás Santino, Macarena Balbiani y Sebastián Bernal

Introducción

En el marco del proyecto de investigación denominado "Aprovechamiento de la energía undimotriz" se establecieron cuatro etapas de trabajo; en la primera se realizó la propuesta teórica conceptual de la captación del recurso mediante un diseño innovador que culminó con un desarrollo de una patente y una maqueta funcional a escala 1:20. En la segunda etapa se está realizando el dimensionamiento del prototipo en escala 1:10. Dentro de esta segunda fase se planteó el desarrollo de un modelo de simulación que represente de la mejor manera el comportamiento dinámico del sistema.

En la tercer etapa se obtendrán datos experimentales con el modelo en escala 1:10 que se utilizarán para validar el modelo de simulación propuesto. Finalmente, la cuarta etapa consiste en el diseño, construcción y puesta en marcha del modelo a escala real.

A continuación se describirán los estudios teóricos que fundamentan el modelo antedicho. Esta descripción se realizará sobre la base de un sistema mecánico-eléctrico de captación de la energía de las ondas marinas mediante una boya sujeta al dispositivo de

transformación.

La energía undimotriz capturada por la boya es transferida a la cadena cinemática y de allí pasa al generador eléctrico.

A los efectos de poder considerar en forma más simple la mecánica de transferencia de la energía se decidió estudiar el sistema por partes de la siguiente forma:

1. Sistema boya-brazo
2. Empuje de la boya
3. Multiplicador planetario
4. Par de rozamiento y eléctrico
5. Momento de inercia equivalente
6. Inversor de marcha y acoplamiento
7. Generador eléctrico y volante de inercia

Sistema boya - brazo

El brazo de peso y largo gira en torno al centro. La boya de peso y altura cuelga del extremo del brazo a una altura respecto a la referencia. Como se observa en la Figura 1.

Aplicando la segunda ley de Newton

$\sum_{i=1}^N F_i d_i + \sum_{i=1}^K T_i = J \frac{d^2 \theta}{dt^2}$ se tiene la expresión:

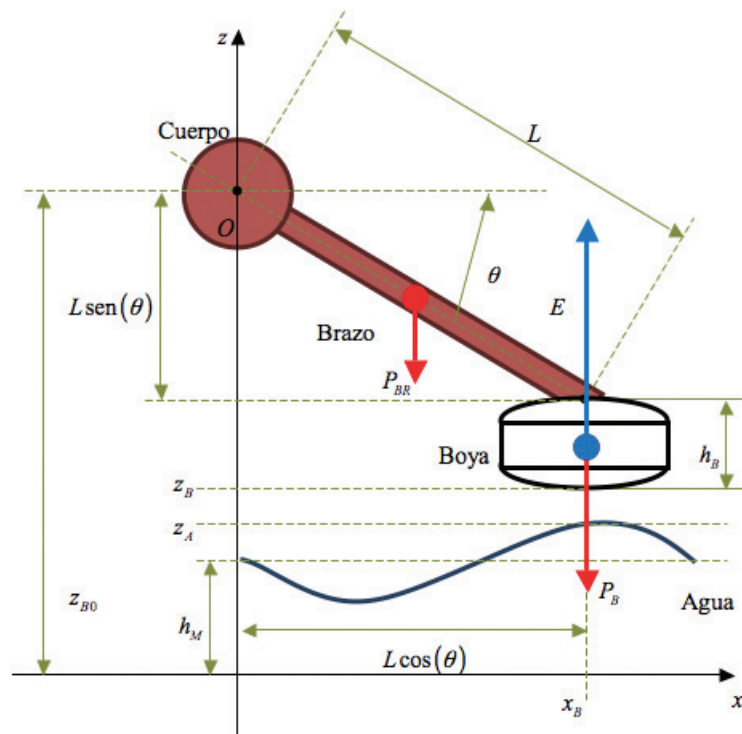


Fig. 1. Sistema boya-brazo

$$E x_B - P_B x_B - P_{BR} \frac{x_B}{2} - T'_E - T_R = J \frac{d^2 \theta}{dt^2} \quad (1)$$

Donde:

- $E[N]$: el empuje de la boya;
- $T'_E[Nm]$: par resistente del generador eléctrico referido a la velocidad del conjunto boya - brazo;
- $T_R[Nm]$: par resistente producto del rozamiento;
- $J[kgm^2]$: momento de inercia equivalente del sistema.

Considerando que de la expresión (1) resulta:

$$(E - P_B - P_{BR}/2)L \cos(\theta) - T'_E - T_R = J \frac{d^2 \theta}{dt^2} \quad (2)$$

El diagrama de bloques correspondiente al modelo del conjunto boya-brazo propuesto se visualiza en la Figura 2.

Este diagrama puede aplicarse en cualquier software de simulación numérica para analizar el comportamiento bajo distintas condiciones de oleaje. Por ejemplo, si deseamos saber qué ocurre en un determinado sitio ingresaremos la altura de la ola (z_A) e inmediatamente obtendremos el ángulo (ang_b en radianes) y la posición del brazo (z_b y x_b).

Empuje de la boya

El empuje de la boya depende del volumen de la misma y de la profundidad a la cual se encuentra sumergida, resultando en general una expresión no lineal (3) en función de la diferencia de alturas del agua y la boya, respectivamente:

$$E = f(z_A - z_B) = \begin{cases} 0 & \text{si } z_A - z_B \leq 0 \\ 0 \leq E \leq E_{\max} & \text{si } 0 \leq z_A - z_B \leq h_B \\ E_{\max} & \text{si } z_A - z_B \geq h_B \end{cases} \quad (3)$$

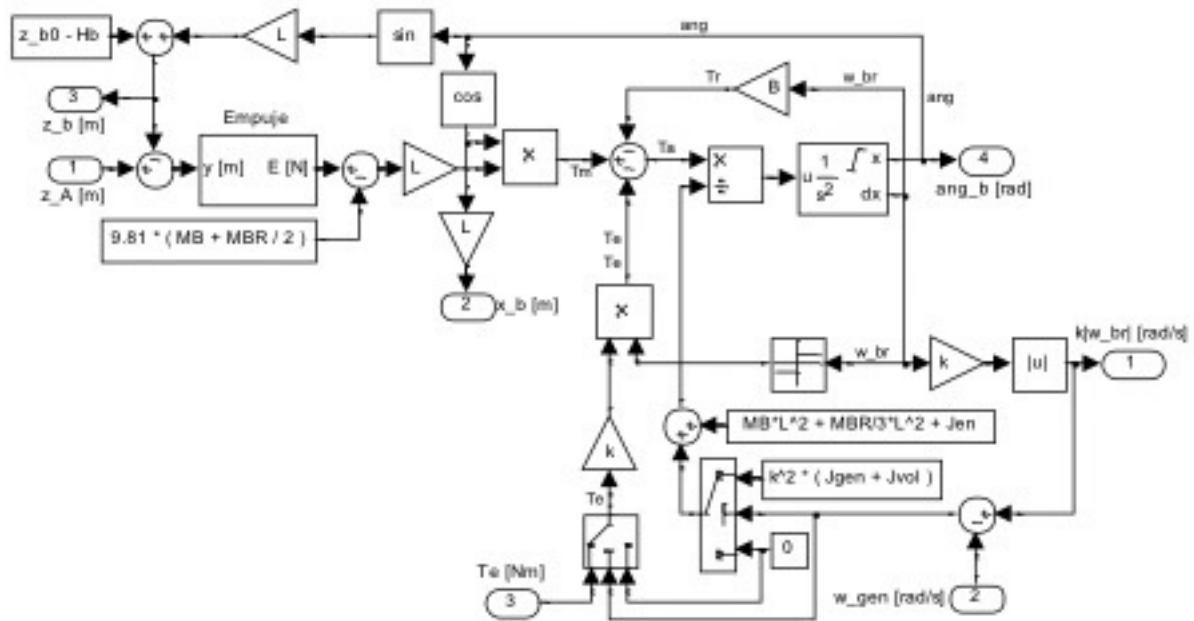


Fig. 2. Diagrama de bloques del modelo boya-brazo

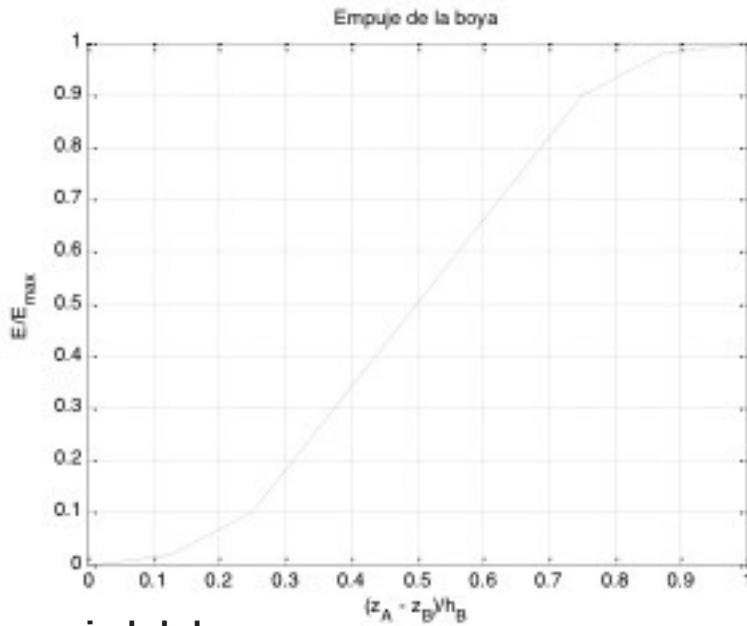


Fig. 4. Función empuje de la boya

Por ejemplo, la función empuje para la forma de la boya podría ser mostrada en la Figura 4:

La posición de la base de la boya z_B está representada por la expresión:

$$z_B = z_{B0} + L \sin(\theta) - h_B \quad (4)$$

Multiplicador planetario

El multiplicador planetario se representa simplemente mediante la razón de velocidades k a la salida (generador) y a la entrada (boya y brazo) mediante la expresión:

$$k = \frac{\omega_G}{\omega} \quad (5)$$

Las pérdidas por rozamiento se incluyen en el coeficiente que se describe a continuación.

Par de rozamiento y eléctrico

El rozamiento mecánico del sistema boya – brazo puede considerarse proporcional a la velocidad angular $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ mediante la expresión:

$$T_R = B \omega = B \frac{d\theta}{dt} \quad (6)$$

Este rozamiento siempre se opone al movimiento, por lo que su signo cambia según la velocidad angular.

El par resistente eléctrico es aplicado al sistema boya – brazo cuando el mismo se encuentra interactuando con el generador. En estas condiciones, el par resulta proporcional a la potencia eléctrica generada e inversamente proporcional a la velocidad de giro del generador, según:

$$T'_E = k T_E = \begin{cases} k \frac{P_E}{\omega_G} \text{sgn}(\omega) \\ 0 \end{cases} \quad (7)$$

Debido a que el generador gira siempre en la misma dirección por medio del inversor de marcha, el par resistente debe ser multiplicado por la función signo de ω para resultar en oposición en todo momento.

Momento de inercia equivalente

El momento de inercia equivalente dependerá si el brazo se encuentra interactuando con el generador o no. La expresión del mismo es:

$$J \cong \begin{cases} m_B L^2 + \frac{1}{3} m_{BR} L^2 + J_{EN} + k^2 (J_G + J_V) \\ m_B L^2 + \frac{1}{3} m_{BR} L^2 + J_{EN} \end{cases} \quad (8)$$

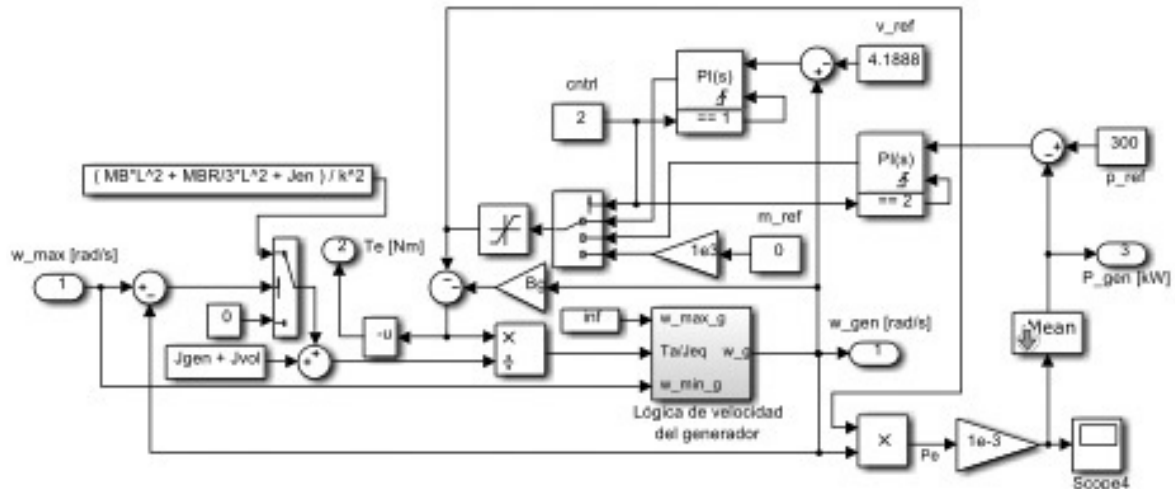


Fig. 5. Control de la simulación del operador de la central de aprovechamiento undimotriz

Donde:

J_{EN} : momento de inercia de los engranajes del planetario;

J_G : momento de inercia del generador y

J_V : momento de inercia del volante.

Inversor de marcha y acoplamiento

Desde el punto de vista del generador, la inversión de marcha de los brazos resulta equivalente a calcular el módulo de la velocidad angular y multiplicarla por la amplificación del planetario.

Generador eléctrico y volante de inercia

El conjunto generador eléctrico – volante de inercia girará a una velocidad mínima igual a la mayor velocidad entre los brazos. En este caso el brazo se encuentra interactuando con el sistema. Si las velocidades de los brazos son inferiores a la velocidad del generador-volante, este sistema evolucionará de acuerdo a su ecuación de movimiento según:

$$\omega_G = \begin{cases} \max(\omega_1, \omega_2) \\ -T_E - B_G \omega_G = (J_G + J_V) \frac{d\omega_G}{dt} \end{cases} \quad (9)$$

Donde:

$T_E [Nm]$: par resistente del generador eléctrico y

$B_G [Ns]$: par resistente producto del rozamiento.

El control de la simulación se realiza por medio de una aplicación programada específicamente,

similar al sistema SCADA del operador de la central de aprovechamiento undimotriz tal como se observa en la Figura 5.

Mediante esta aplicación, se pueden variar los parámetros de la simulación, las condiciones de oleaje del lugar de estudio, las características dimensionales del equipo y el método de control del mismo. Ver Figura 6.

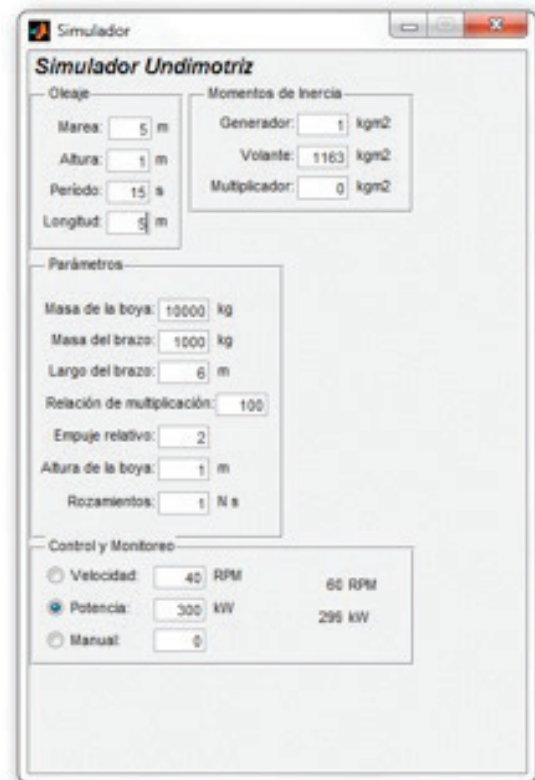


Fig. 6. Pantalla de configuración y control

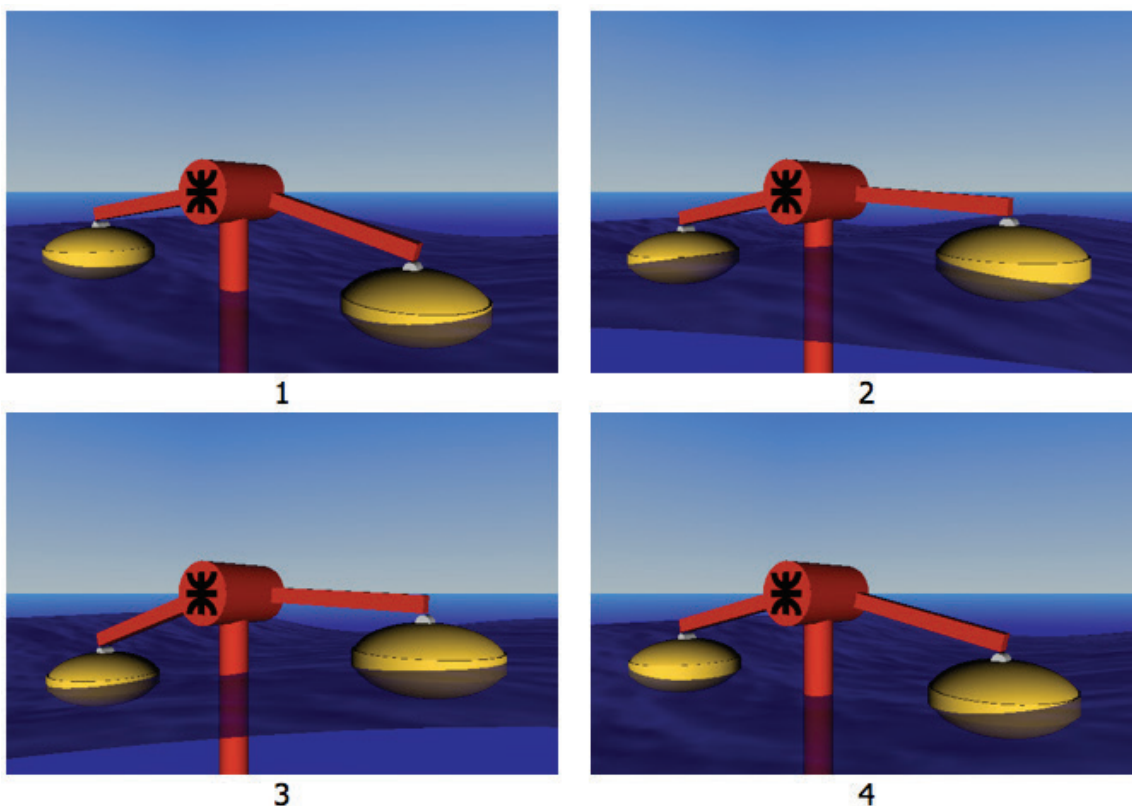


Fig. 7. Simulación física del modelo tridimensional

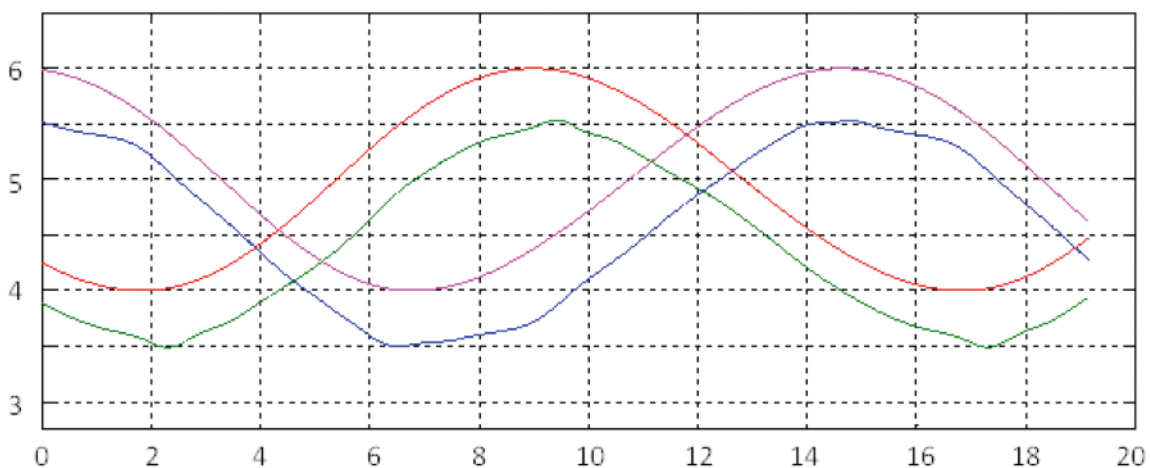


Fig. 8. Altura de olas y altura de boya (acompañando oleaje)

Parte experimental

Los resultados de la simulación en tiempo real pueden visualizarse mediante series de tiempo de todas las variables físicas (entre otros: posición de los brazos, altura de las olas, velocidad de giro del generador o potencia eléctrica) o mediante un modelo tridimensional animado cuya dinámica responde a las variables citadas.

Se muestran en las Figuras 7 y 8.

Como consecuencia del oleaje simulado y el movimiento de las boyas se generan las variables mecánicas que se muestran en los gráficos incluidos en la Figura 9.

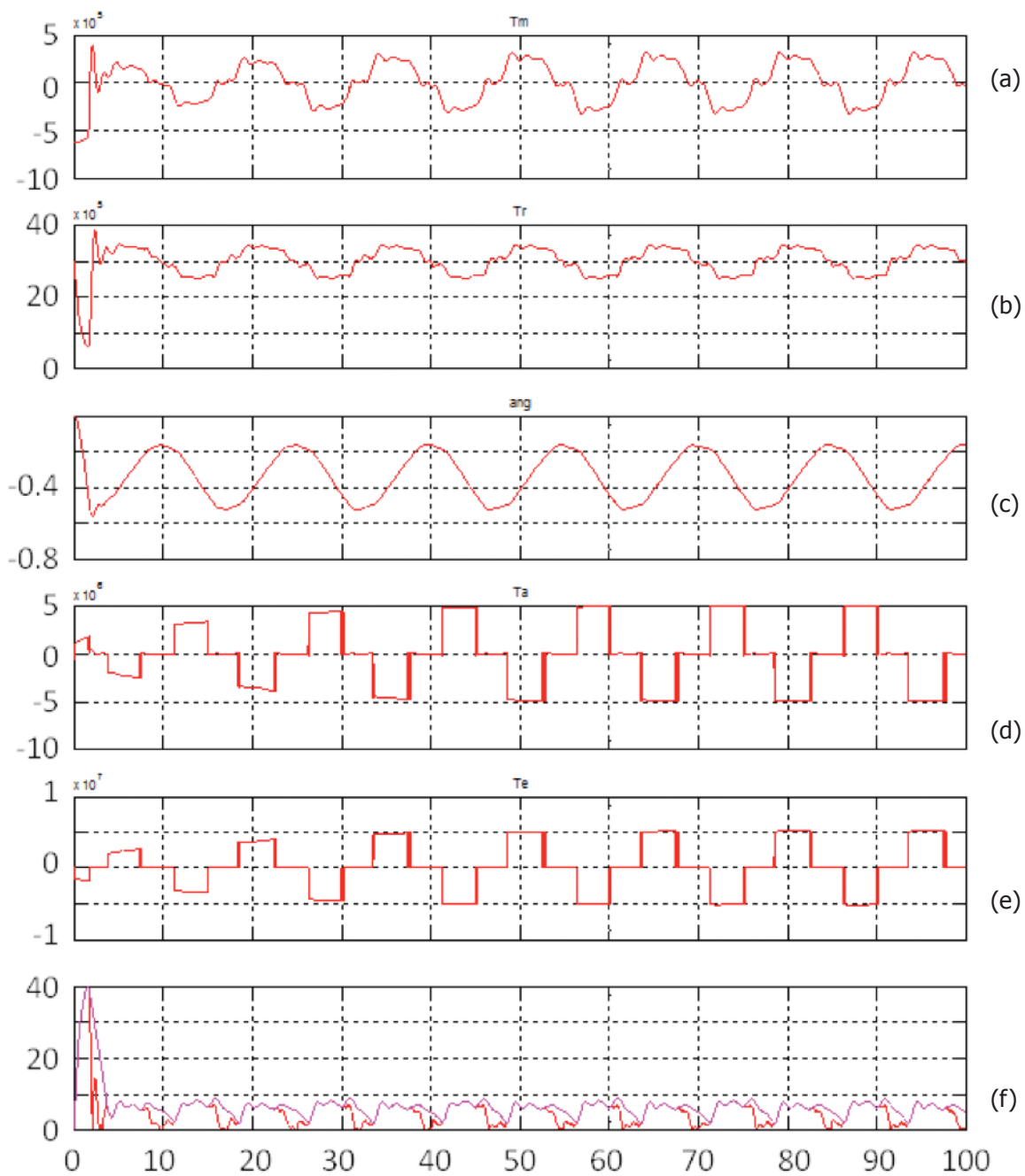


Fig. 9. Par del brazo (a), par resistente (b), ángulo brazo (c), cupla acelerante (d), cupla electromagnética (e) y velocidad del generador (f).

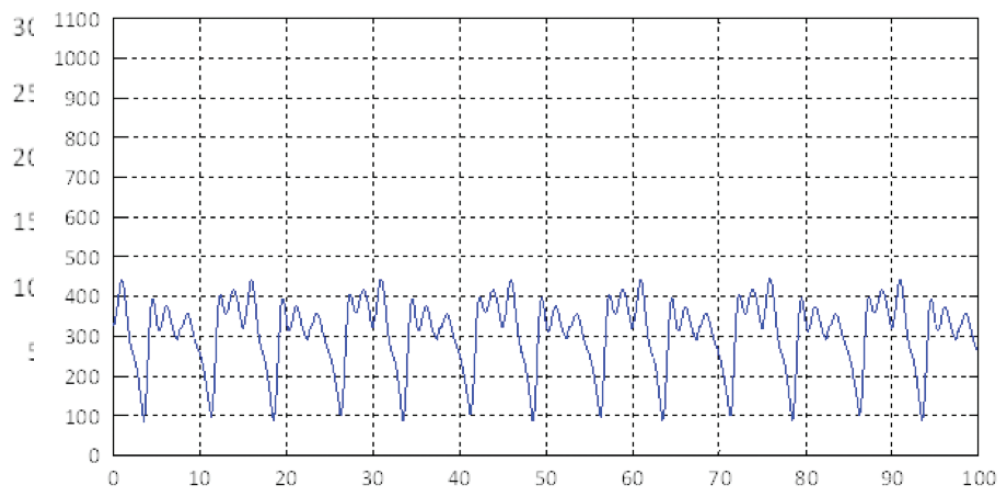


Fig. 10. Potencia eléctrica (en kW)

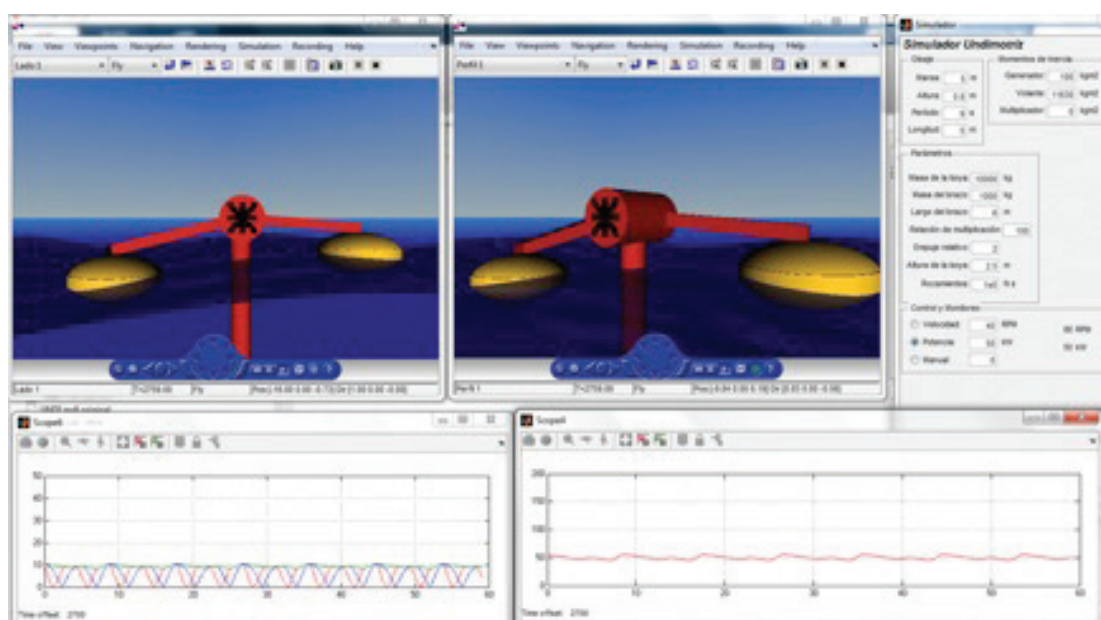


Fig. 11. Panel de control de la simulación

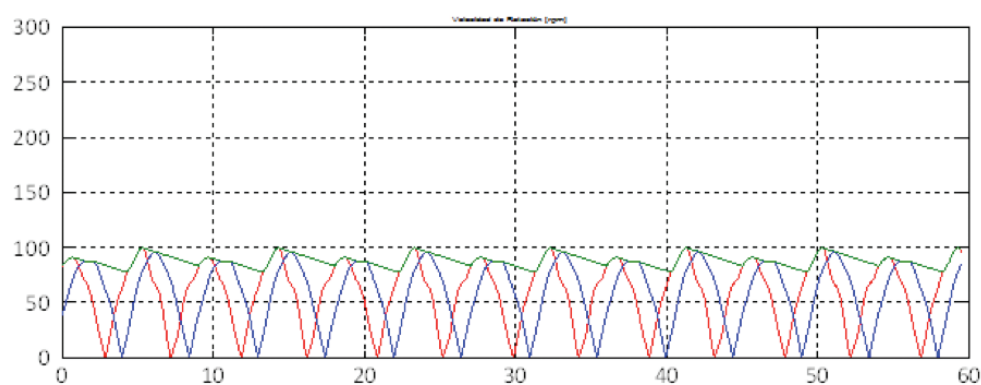


Fig. 12. Gráficos de trayectoria de los ejes a la salida del inversor de marcha y del eje del volante de inercia y el generador

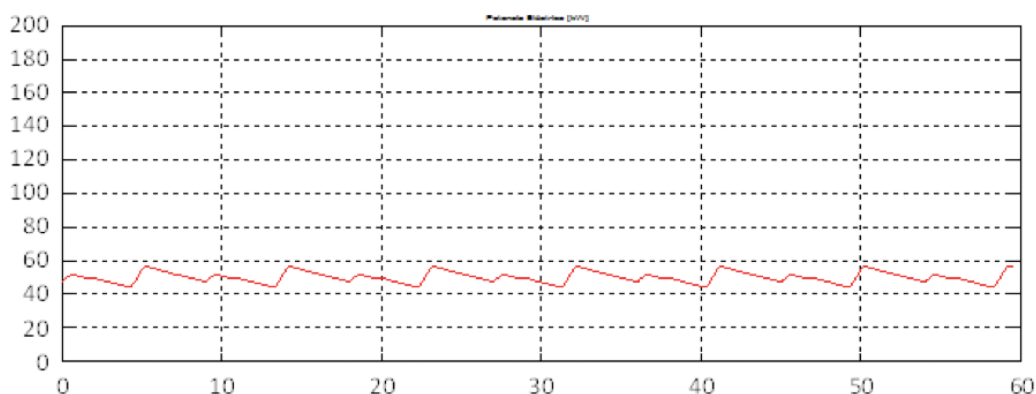


Fig. 13. Gráfica de la variación de potencia en el generador en función del tiempo

La respuesta del generador resulta en una potencia eléctrica variable pero con valor medio definido en función del oleaje y es mostrada en la Figura 10.

En la Figura 11 se visualiza la pantalla de control: los comandos, el comportamiento del equipo en dos vistas y los resultados obtenidos de variación de potencia en función del tiempo.

Resultados

Los resultados de la simulación se expresan en la Figura 12. Se muestran con color rojo y azul las trayectorias de las revoluciones de los ejes de salida del inversor de marcha de cada brazo y en verde la trayectoria del eje del generador acoplado a los volantes de inercia.

En la Figura 13 se presenta la variación de potencia en función del tiempo, en color rojo.

Discusión

Si bien esta simulación nos permite ahorrar recursos para obtener resultados, es fundamental

poder validarla con experiencias y ensayos del equipo en cuestión mediante pruebas de campo. Para ello estamos finalizando la construcción del equipo a escala 1:10 para luego ensayarlo en el canal de simulación de olas del Instituto Nacional del Agua (INA).

Conclusiones

La utilización del sistema de simulación propuesto permite en primer término predecir el comportamiento bajo las diversas condiciones climáticas del sitio elegido como así también, poder trasladarlo a otros lugares.

En segundo término, poder obtener la respuesta de los parámetros relevantes para acercarnos al mejor diseño teórico. La simulación respondió exactamente al modelo desarrollado teóricamente y se logró convertir un movimiento oscilatorio variable y un movimiento cuasi constante dentro de un cierto rango, lo que permite que el generador funcione dentro de su ámbito de diseño y permita generar energía eléctrica de manera eficiente.

Referencias

- CORTÉS CHERTA, M, (1977) Curso moderno de máquinas eléctricas rotativas. Editorial Editores Técnicos Asociados. Barcelona.
- OGATA, K., (2003) Ingeniería de control moderno. Editorial Pearson Educación. Madrid.
- TIPLER, P. y MOSCA, G., (2003) Física. Editorial Reverté. 5º Edición. Madrid.

Utilización de pozos misteriosos como herramienta para el fraude fiscal con máquinas tragamonedas electrónicas

Nahuel González¹, Raúl Daneri², Alejandro P. Yaya³, Sebastián Brie⁴

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Sistemas de Información Avanzada, Av. Paseo Colón 850, (C1063ACV), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

² Grupo Ayex S.A., Calderón de la Barca 2579, (C1417CIO), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

³ Fundación Otto Krause, Usina de Innovación Jorge Newbery, Av. Paseo Colón 650, (C1063ACT), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

⁴ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Industrial, Medrano 951, (C1179AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

ngonzalez@lsia.fi.uba.ar

Recibido el 23 de abril de 2015, aprobado el 30 de julio de 2015

Resumen

La operación comercial de los juegos de azar ofrece múltiples caminos para el fraude fiscal que podrían ser explotados por los operadores o por terceros. La implementación obligatoria de sistemas de reporte en tiempo real para el monitoreo de recaudación y continuidad operativa ha provocado una virtual desaparición de los delitos mencionados. Sin embargo, los avances tecnológicos hacen aparecer brechas de seguridad que deben ser contempladas para evitar el resurgimiento de nuevas versiones más complejas de los mismos. En este artículo se describe una de ellas, que utiliza pozos misteriosos para elevar artificialmente el porcentaje de devolución de las máquinas tragamonedas, con el fin de ocultar parcialmente la recaudación.

PALABRAS CLAVE: JUEGOS DE AZAR - POZOS MISTERIOSOS - FRAUDE FISCAL – CONTROL - AUDITORÍA

Abstract

Commercial gambling operations can open backdoors for tax fraud which could be exploited by casino operators or third parties. Mandatory deployment of online accounting systems for income and operational abidance control has drastically diminished the aforementioned offenses. However, as gaming machine technology advances, new backdoors are opened which must be accounted for to avoid novel ways of tax fraud. In this article we describe the usage of certain mystery progressive jackpots to artificially rise the payback percentage of electronic gaming machines, in order to partially hide their income.

KEYWORDS: GAMBLING - MYSTERY PROGRESSIVE JACKPOT - TAX FRAUD -INCOME CONTROL - TAX AUDIT

Introducción

Algunas condiciones de negocio en las que se desarrolla la operación comercial de los juegos de azar hacen a ésta particularmente propicia para su utilización malintencionada con fines delictivos, ya sea desde el fraude fiscal hasta incluso el lavado de dinero. Los estados nacionales y provinciales deben establecer exigentes requisitos de auditoría y control en línea, fuera de línea y cruzados. Los motivos más relevantes de esta necesidad son: (a) los montos totales de dinero manejados, tanto en la recaudación bruta como en el flujo total, que puede ser mayor a veinte veces lo recaudado; (b) la magnitud de los premios potenciales y su carácter azaroso; y (c) la facilidad que brinda el sistema de juego para diluir operaciones grandes en infinidad de operaciones pequeñas llevadas a cabo por múltiples agentes. Estos controles deberían aplicarse tanto a nivel de sala y puesto de juego, como así también a nivel del detalle de operaciones realizadas y eventos críticos. A pesar de las dificultades ofrecidas, los cánones obtenidos por las loterías, junto con los impuestos correspondientes a cada estado, han demostrado ser herramientas de gran valor para la ayuda social y otros propósitos presupuestarios.

A lo largo de la historia de la operación comercial de los juegos de azar, la explotación de máquinas tragamonedas electrónicas ha crecido considerablemente, no sólo en la cantidad de puntos de explotación y su penetración geográfica, sino también, y fundamentalmente, en la preponderancia de la misma frente a otras modalidades como el juego físico, los sorteos y las video loterías. Las máquinas tragamonedas electrónicas ofrecen numerosas ventajas al explotador, entre las que se cuentan la simplicidad de la operación y su potencial recaudatorio. No solo para el explotador las máquinas tragamonedas electrónicas resultan convenientes comparadas con otras modalidades, sino que se da una situación idéntica desde el punto de vista de los entes auditores y reguladores del juego, ya que estas máquinas permiten la implementación de sistemas electrónicos y/o informáticos de control en línea y en tiempo real, conectados directamente a las mismas, que no requieren intervención humana para reportar la información relevante y son, por lo tanto, más confiables que otros métodos indirectos.

En vista de las posibilidades brindadas, en los

últimos años diferentes loterías han hecho obligatoria la contratación de proveedores independientes de sistemas de control en línea para la explotación de juegos de azar, cuya responsabilidad es la captura, transmisión y almacenamiento a largo plazo de la información relevante requerida por cada jurisdicción (Instituto Provincial de Lotería y Casinos, 2003; Lotería Chaqueña, 2009; Lotería Nacional Sociedad del Estado, 2012, entre otras). Si bien la normativa utilizada no es uniforme, en los últimos años la adopción generalizada de las normas internacionales GLI (Gaming Labs International, 2000, 2007, 2011a), entre otras, con variaciones regionales, ha colaborado con la reducción de la incompatibilidad entre jurisdicciones y la simplificación de los trámites de certificación, permitiendo una mayor transparencia en las relaciones entre operadores y entes de control (ver por ejemplo, Instituto Provincial de Lotería y Casinos, 2013). Recientemente el Estado nacional se ha sumado a los entes de control que demandan información en línea de la explotación de juegos de azar con la Resolución General Nº 3510 de la Administración General de Ingresos Públicos (AFIP, 2013), que exige a los proveedores de sistemas la elevación de los contadores diarios de recaudación de cada máquina a los servicios web de la entidad, con independencia de su envío a las loterías provinciales.

Sin embargo, la evolución tecnológica de las máquinas tragamonedas y otros dispositivos de juegos similares, cada vez más complejos, acompañan las exigencias crecientes de funcionalidad y satisfacción del jugador. Esta evolución implica la adición de nuevas características y la conexión a nuevos sistemas relacionados, que requieren controles y auditorías que no han sido contemplados originalmente en los sistemas en línea o en las reglamentaciones. Algunos ejemplos son los sistemas de *tickets*, los sistemas de pago con tarjeta y los sistemas de fidelización de jugadores. Cabe destacar entre estos ejemplos a los sistemas de pozos, que nacieron como una característica distintiva de algunas máquinas particulares, pero luego se extendieron a grupos de máquinas similares, más tarde a conjuntos de diferentes modelos y marcas de una misma sala, y finalmente a máquinas de salas distintas.

En este artículo nos centraremos en el análisis de las características de los sistemas de pozo tipo Mikhon, bajo la modalidad denominada

“misteriosa”, en la cual los montos acumulados no son visibles a los apostadores hasta el momento de la obtención del premio, y su potencial utilización espuria para el fraude fiscal. En la sección siguiente, de carácter técnico, se describen parcialmente las interfaces y el protocolo de comunicaciones utilizado por el sistema en cuestión. Más adelante, se explica la utilización indebida del sistema para el fraude fiscal. Finalmente, se identifican posibles políticas generales de control y auditoría que permitirían evitar abusos similares.

Investigación del funcionamiento del sistema tipo Mikhon de pozos “misteriosos”

Los sistemas de pozos misteriosos tipo Mikhon utilizan un puerto de comunicaciones de propósito específico cuya interfaz eléctrica es del tipo TTL 12 V desbalanceada, con uno débil-cero dominante. La conexión es punto a punto dedicada entre la máquina de juego y el controlador de pozo, con una comunicación unidireccional de la primera al segundo. No se utiliza modulación en la capa física ni un protocolo de comunicaciones por capas, por lo que el canal no está asegurado a nivel lógico. En resumen, no existe encriptación o verificación de la información transmitida ni autenticación de los extremos.

La información que se reporta al controlador de pozo consiste en los incrementos de contador de entrada y la obtención de alguno de los pozos misteriosos, y se codifica con el descenso a cero de la línea de transmisión durante un tiempo determinado por la información a transmitir. Los diagramas de tiempos de cada una de ellas se muestran en la Figura 1; cada separación vertical representa un tiempo de 50 ms. Las posibles formas de onda indican:

- **HEADER.** La señalización de obtención de alguno de los premios misteriosos se prefija con entre una y tres cabeceras como la mostrada

en la figura.

- **JACKPOT.** La obtención de alguno de los premios misteriosos se señala con esta forma de onda. La cantidad de cabeceras que la preceden determina el nivel progresivo acertado.

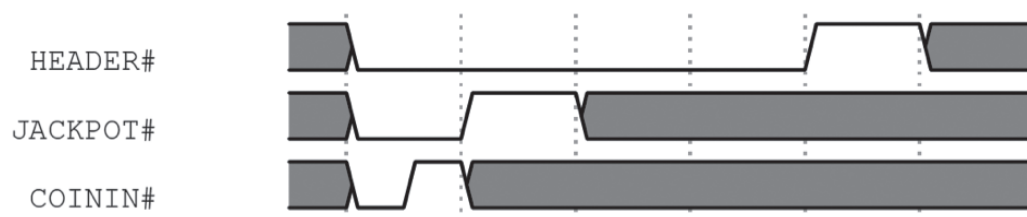
- **COININ.** Cada crédito apostado genera un pulso como el mostrado en la figura. Una apuesta mayor a un crédito genera un tren de pulsos.

Los sistemas de pozos tipo Mikhon contemplan hasta tres niveles progresivos denominados P, Q y R, que son señalizados respectivamente por una, dos o tres cabeceras **HEADER** en forma previa a **JACKPOT**. Al utilizarse un canal unidireccional, no existe una confirmación por parte del controlador de que la información se ha recibido ni hay reintento en caso de que la misma se pierda y por lo tanto tampoco existe conocimiento por parte de la máquina de los montos actuales de los pozos o de los montos ganados.

Nótese que el tipo de interfaz eléctrica utilizada permite la conexión de módulos adicionales ilegítimos a la misma línea de transmisión que pueden escuchar pasivamente y, llegado el caso, transmitir uno a varios trenes de pulsos adecuadamente temporizados para imitar una transmisión legítima, que desde el punto de vista del controlador son indistinguibles de los enviados por la máquina tragamonedas. Para evitar interferencias mutuas entre la máquina y el módulo ilegítimo, basta con evitar temporalmente el uso de la máquina o, en forma más sofisticada, se podría implementar una estrategia de escucha que infiera el instante en que se está resolviendo una apuesta y por lo tanto la máquina se queda en silencio para transmitir en ese intervalo de tiempo.

Discusión de las potenciales modalidades de abuso y fraude fiscal con los sistemas de pozos tipo Mikhon

Las debilidades de seguridad de los sistemas de



pozos misteriosos tipo Mikhon pueden ser explotadas con o sin la connivencia del proveedor de este servicio. Ambas modalidades se muestran en las Figuras 2, 3 y 4, con la convención de representar el flujo de información legítimo con flechas claras y el utilizado para el abuso del sistema con flechas oscuras. El esquema básico representa un servidor o un concentrador que hace las veces de comando central del pozo, con la responsabilidad de llevar registro persistente de los montos acumulados en cada nivel progresivo, y un conjunto de máquinas tragamonedas electrónicas que reportan al mismo los montos apostados e indican al controlador cuándo se ha obtenido un premio mayor que debe ser anunciado por éste.

La modalidad de explotación con connivencia del proveedor de servicio se muestra en la Figura 2 y se diferencia de un sistema de pozos convencional por la existencia en el mismo servidor de un canal de comando que fuerza la obtención del premio aunque ninguna máquina haya reportado un evento tal. Aunque en el diagrama este canal se representa con un botón, no es necesario que el mismo tenga una implementación física, sino que esta función puede ser cumplida por un canal lógico como una opción oculta en el sistema de administración o un paquete de red, cableada o por aire, que dispare el comportamiento esperado.

Cuando la modalidad de explotación no involucra al proveedor de servicio y el explotador no cuenta con privilegios de acceso al almacenamiento de información crítica del sistema, el protocolo no asegurado puede ser explotado

mediante la conexión en paralelo de una placa ilegítima, capaz de escuchar la información transmitida por la máquina (ver Figura 3).

El tipo de interfaz eléctrica descrita por la norma permite agregar extremos a la línea de comunicaciones y la ausencia de encriptación y autenticación en el canal lógico hace factible la lectura de la información. En el momento en que el atacante quiere forzar la obtención del pozo, se desconecta brevemente la máquina del canal (o se aplica alguna de las estrategias indicadas en la sección anterior) y se utiliza la placa ilegítima para enviar cualquiera de los comandos de obtención de premio (ver Figura 4).

Como el sistema de pozos utiliza un canal de comunicaciones de propósito específico, el mismo no es auditable con las herramientas usuales de control en línea. Más aún, al ser un sistema de pozos misteriosos de comunicación unidireccional, la máquina desconoce los montos acumulados, ya que no recibe información de las otras máquinas conectadas ni del controlador, y por lo tanto no puede realizar movimientos de contadores relacionados con los premios excepcionales. De esta forma, la información contable del sistema de pozos debe ser reportada por un canal administrativo alternativo que, muy probablemente, no goza de la capacidad de integración e interconsulta de los canales automatizados usuales.

Con la connivencia de una persona física que simula utilizar la máquina de manera legítima, un usuario malintencionado puede disparar a voluntad la obtención de alguno de los premios

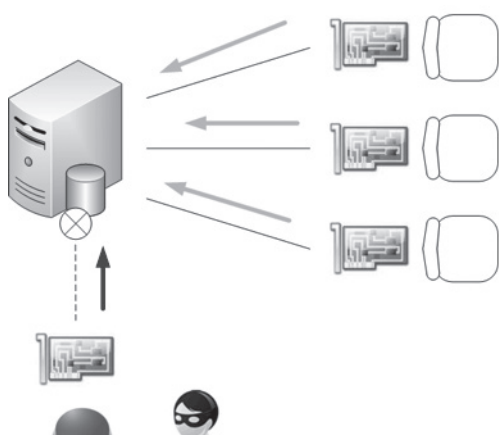


Fig. 2. Explotación del sistema de pozos con connivencia del proveedor de servicios. Acceso oculto al forzado de premios

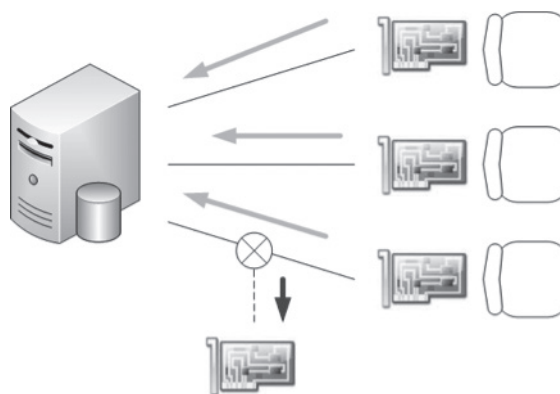


Fig. 3. Explotación del sistema de pozos sin connivencia del proveedor de servicios: escucha pasiva

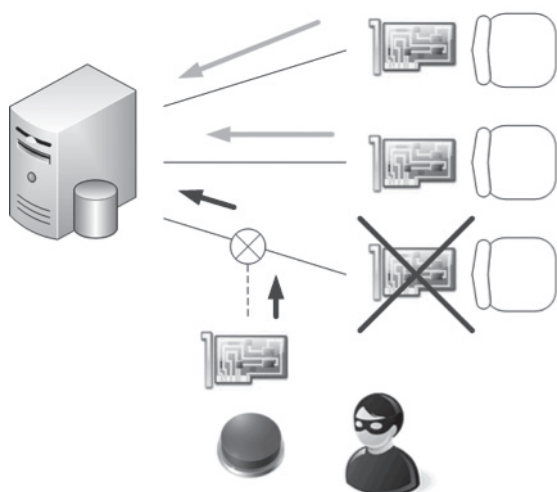


Fig. 4. Explotación del sistema de pozos sin connivencia del proveedor de servicios: forzado de premios

del pozo. Esta acción no deja registro en las máquinas sino solamente en el controlador de pozo, y, por lo tanto, el reporte al ente de control llega en forma tardía y por un canal alternativo en lugar de llegar en tiempo real a través del sistema de control en línea. Si bien existe un acto de defraudación a los apostadores legítimos, ya que pierden la posibilidad de obtener dicho premio o, cuando lo hacen, obtienen un monto acumulado menor, puede no ser ésta la principal finalidad de este accionar. Podría también deberse a un simple hurto al operador perpetrado por sus empleados.

El porcentaje de devolución de las máquinas tragamonedas electrónicas contempla el desvío de créditos para ser acumulado en los pozos. Posteriormente, el pago de dichos pozos debería retornar los porcentajes a su valor teórico y aprobado por los entes de control. Si el explotador simula la obtención de los premios mencionados sin intención de realizar los pagos a un cliente apostador, el porcentaje de devolución de las máquinas se está elevando artificialmente, lo que disminuye en forma aparente la recaudación. Como los montos a pagar por parte del explotador en concepto de imposiciones fiscales o canon de explotación se corresponden con su recaudación, al reducir ésta se disminuyen aquéllos. Pero la recaudación no se ha reducido en forma real, ya que el premio nunca es cobrado por un apostador y los montos a pagar quedan a favor del operador inescrupuloso.

Posibles políticas de control y auditoría para evitar las modalidades descritas de fraude fiscal

Las condiciones de vulnerabilidad del sistema descrito en la sección anterior, que permitirían los abusos mencionados, se pueden dividir en tres ejes principales:

- *Debilidades técnicas.* La utilización de un canal no seguro para la interconexión con un sistema externo deja abierta la posibilidad de interceptación y falsificación de información, además de imposibilitar el análisis posterior por ausencia de registros de auditoría.
- *Auditoría deficiente.* A diferencia de los pozos propios de cada máquina tragamonedas electrónica, cuya evolución y obtención deja registro persistente, y de los pozos multimáquina a la vista, con similares características de auditoría y con la ventaja adicional de que sus montos y premios son claramente visibles a todos los apostadores de la sala de juego, la información contable de este tipo de pozos misteriosos multimáquina no puede ser contrastada con otros dispositivos de juego.
- *Extensiones no integradas a los sistemas de control en línea.* La ausencia de contadores específicos para registrar en tiempo real los movimientos del pozo y de eventos relacionados a la obtención de los premios deja a los sistemas de pozos misteriosos tipo Mikhon fuera del control en línea, requiriendo un procedimiento de control a través de un canal alternativo.

Solo atacando los tres ejes es factible evitar estas modalidades de fraude fiscal. A modo de ejemplo, evitar las debilidades técnicas, o agregar políticas de auditoría eficaces, no brinda protección contra el abuso con connivencia del proveedor de servicios, ya que éste siempre puede abrir una puerta trasera para la interceptación y falsificación de información, o bien alterar los registros de manera consecuente para ocultar el hecho. Sin embargo, es útil para el explotador evitar dichas falencias, ya que éstas pueden ser explotadas tanto para el fraude fiscal como para el hurto por parte de empleados malintencionados.

Por otra parte, si bien la integración de las extensiones al sistema de control en línea permi-

ten el control cruzado, dificultando o imposibilitando por completo la alteración unilateral de los registros de auditoría de los módulos de extensión, la misma solo puede ser aplicada una vez que las tecnologías o los procedimientos utilizados han progresado lo suficiente y se ha unificado la manera de llevar el control. Por ejemplo, tanto el protocolo estándar para transmisión en tiempo real de información contable de máquinas tragamonedas electrónicas denominado SAS (International Game Technology Inc., 2003) como la propuesta modernizada denominada G2S (Gaming Standards Association, 2012), incluyen contadores que reflejan los movimientos de los sistemas de extensión de *tickets*, pozos, carga y descarga de dinero electrónico entre otros. Como las próximas innovaciones deberán atravesar un período en el cual la transmisión de sus contadores y eventos significativos no estén reflejados en los protocolos en uso, se requiere mitigar los primeros dos ejes en forma previa a su incorporación integrada a los sistemas en línea.

Es importante notar que las normas GLI, ya citadas en la Introducción, incluyen apartados específicos para cada sistema de extensión, que atacan las debilidades de los sistemas sobre los tres ejes mencionados. Particularmente respecto de los sistemas de pozos, el estándar aplicable (GLI-12, Gaming Standards Association, 2011b) señala lo siguiente:

- *Seguridad de los datos.* Los métodos de comunicación en canales compartidos deben incluir encriptación y políticas de seguridad para evitar la corrupción o el compromiso de los datos; no se habla específicamente de la autenticación de extremos. Se menciona la necesidad de generar claves o semillas variables para distintas sesiones.

- *Bidireccionalidad del canal.* El canal de datos entre la máquina tragamonedas electrónica y el controlador deberá ser forzosamente bidireccional y este deberá reportar periódicamente los montos de los niveles del pozo.

- *Contadores e integridad.* Se especifica el conjunto mínimo de contadores que deberá implementar el controlador y las máquinas conectadas, incluyendo la cantidad de veces que se obtuvo premios, los montos acumulativos pagados, los máximos, los mínimos y las tasas de acumulación para cada nivel. Todos los contadores deben ser consultables a pedido. En

caso de discrepancia entre los contadores de la máquina y el controlador, este último debe bloquearse en condición de error.

- *Integración con el sistema en línea.* La información mínima de auditoría del pozo debe poder ser transmitida en tiempo real a través del sistema en línea al que se encuentre conectada la máquina y, preferentemente, el sistema de pozos debe contar con un sistema similar.

La modalidad de pozos misteriosos no solo no se encuentra restringida por dicho estándar, sino que es mencionada explícitamente, presuponiendo que los requisitos mínimos señalados son suficientes para evitar el fraude.

Resumiendo, la incorporación de estándares modernos en las normativas jurisdiccionales y la exigencia de un proceso de certificación riguroso, que involucre el análisis del código fuente además de la validación del cumplimiento del estándar, pueden evitar el fraude que explote debilidades técnicas, ya sean malintencionadas o producto de la obsolescencia. La extensión de los mecanismos de auditoría, en conjunto con la integración con los sistemas en línea ya instalados, permite la verificación cruzada de la información a través de procesos automatizados sin canales de reporte *ad hoc*, cerrando el camino a posibles abusos del sistema. Sin embargo, como es esperable que la incorporación de mecanismos de control estandarizados se vea retrasada en el tiempo respecto de la incorporación de nuevos sistemas que extiendan la funcionalidad de las máquinas tragamonedas electrónicas, se debe hacer hincapié en la disminución de las debilidades técnicas y la profundización y diversificación de la información de auditoría.

Conclusiones

En el presente artículo se ha descrito parcialmente el funcionamiento uno de los tipos de pozos misteriosos (Mikhon) y se ha explicado una posible modalidad de explotación de las debilidades de seguridad del mismo con el objetivo de realizar fraude fiscal, para luego proponer políticas de control y auditoría que lo imposibiliten con este u otros sistemas de similares características.

Si bien los montos que manejan este tipo de pozos no son del orden de magnitud de los de la ganancia de la sala y por lo tanto no es fac-

tible el abuso en gran escala, la existencia de puertas traseras pasibles de explotación debilita la transparencia en la relación entre operadores y entes de control. Deben, por tanto, tomarse las medidas necesarias tanto desde el punto de vista normativo como de monitoreo de parte de los entes de control e incluso de los mismos operadores para evitar el fraude interno por parte de empleados inescrupulosos.

La evolución tecnológica continua, la inclu-

sión de nueva funcionalidad a las máquinas tragamonedas electrónicas y su interconexión a sistemas que brindan funcionalidad extendida, obligan a la actualización permanente de los sistemas y a establecer adecuadas políticas de control y auditoría internas y externas, para evitar en forma temprana la proliferación de modalidades de abuso que pueden dañar la recaudación fiscal y del operador privado, además de la relación entre ellos.

Referencias

- ADMINISTRACIÓN GENERAL DE INGRESOS PÚBLICOS, (2013), Resolución General N° 3510. Buenos Aires, Argentina, Julio 2013.
- GAMING LABS INTERNATIONAL, (2000), LLC, GLI-11: Gaming devices in Casinos v2.0. http://www.gaminglabs.com/pdfs/GLI-11_v1.3.pdf. Noviembre 2000.
- GAMING LABS INTERNATIONAL, (2007), LLC, GLI-11: Gaming devices in Casinos v2.0. http://www.gaminglabs.com/pdfs/GLI-11_v2.0_Standard_FINAL.pdf. Abril 2007.
- GAMING LABS INTERNATIONAL, (2011a), LLC, GLI-11: Gaming devices in Casinos v2.1. http://www.gaminglabs.com/pdfs/GLI-11_v2.1.pdf. Agosto 2011.
- GAMING LABS INTERNATIONAL, (2011b), LLC, GLI-12: Progressive gaming devices in Casinos v2.1. http://www.gaminglabs.com/pdfs/GLI-12_v2_1_FINAL.pdf. Septiembre 2011.
- GAMING STANDARDS ASSOCIATION, (2012), Gaming to System protocol. Nevada, Abril 2012.
- INSTITUTO PROVINCIAL DE LOTERÍA Y CASINOS, (2003), Resolución No 928/03. La Plata, Argentina, Marzo 2003.
- INSTITUTO PROVINCIAL DE LOTERÍA Y CASINOS, (2013), Resolución No 705/13. La Plata, Argentina, Mayo 2013.
- INTERNATIONAL GAME TECHNOLOGY INC., (2003), Slot Accounting System Protocol version 6.01 specification. Nevada, Junio 2003.
- LOTERÍA CHAQUEÑA, (2009), Resolución No 0462. Resistencia, Argentina, Febrero 2009.
- LOTERÍA NACIONAL SOCIEDAD DEL ESTADO, (2012), Resolución No 145/12. Buenos Aires, Argentina, Diciembre 2012.

INSTRUCCIONES PARA LA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS

El presente instructivo reúne las condiciones generales de presentación y formato e información general para todos los interesados en remitir sus contribuciones.

Presentación de los textos

Los trabajos, en versión impresa (original y copia), podrán ser remitidos a los miembros del Comité Editorial:

Lic. Gladys Esperanza, Lic. Juan Miguel Languasco, Dr. Fernando Gache

proyecciones@frba.utn.edu.ar

Facultad Regional Buenos Aires,
Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva
Medrano 951 (C1179AAQ) Buenos Aires, República Argentina

Recomendaciones generales

Proyecciones es una publicación destinada a un público amplio, con formación específica en diferentes campos del conocimiento, que se distribuye en diversos países de habla castellana. Por tal razón, se recomienda a los autores preservar la pureza y la claridad idiomática de sus textos y evitar el uso de vocablos de uso corriente en disciplinas particulares, pero no conocidos (o con significado distinto) en otros ámbitos. Asimismo, no deberán emplearse palabras derivadas de traducciones incorrectas (por ejemplo, asumir en lugar de suponer, o librería por biblioteca) o pertenecientes a otros idiomas, salvo cuando no existan en castellano equivalencias válidas, o cuando se refieran a técnicas o procesos conocidos por su denominación en la lengua original.

Se recomienda también evitar el uso indiscriminado de mayúsculas cuando se haga mención sustantivos comunes, como por ejemplo elementos químicos o técnicas particulares.

Es conveniente, en todos los casos, efectuar una adecuada revisión ortográfica y de sintaxis de los textos antes de su envío.

Pautas específicas

Se deberán contemplar las siguientes pautas:

La presentación corresponderá a un formato adecuado para hojas tamaño A4 (21cm x 29,7cm) escritas con interlineado simple, conservando los siguientes márgenes: superior e inferior, 2,5 cm; derecho e izquierdo, 3 cm; encabezado y pie de página, 1,2 cm. La fuente escogida es Tahoma, tamaño 12. Se recomienda muy especialmente a los autores respetar esta pauta, pues las conversiones posteriores desde otras fuentes, diferentes a la mencionada, pueden representar la distorsión o la pérdida de caracteres especiales, como las letras griegas. Se deberá emplear sangría en primera línea de 1cm y alineación justificada en el texto.

En la página inicial se indicará el título en negrita, centrado y con mayúscula sólo en la primera letra de la palabra inicial; en otro renglón, también en negrita, iniciales y apellido del (de los) autor(es) y, finalmente, en itálica, el nombre y la dirección postal de la(s) institución(es) a la(s) que pertenece(n), junto con la dirección de correo electrónico del autor principal. Este autor será el enlace con el Comité editorial para todos los requerimientos vinculados con la publicación. Se recuerda que a los efectos de esta publicación solo se listarán debajo del título hasta cinco autores, figurando los restantes en el pie de la misma página.

A continuación, dejando tres espacios libres, el texto, en espacio simple, comenzando con un resumen de 50 a 100 palabras, en castellano e inglés, también en negrita y con tamaño de fuente 10. Luego del resumen, deberán consignarse las palabras clave que orienten acerca de la temática del trabajo, hasta un máximo de cinco. Asociaciones válidas de palabras (por ejemplo, contaminación ambiental, fluorescencia de rayos X) se considerarán como una palabra individual.

Se aconseja ordenar al trabajo de acuerdo a los siguientes ítems: Introducción, Parte Experimental, Resultados y Discusión, Conclusiones, Agradecimientos (si existieren) y Referencias. Cada uno de ellos tendrá categoría de título y deberá ser presentado en forma equivalente al título original del trabajo, en negrita y centrado, mientras que los subtítulos se consignarán en el margen izquierdo y en negrita. Ninguno de estos ítems deberá ser numerado. La extensión del trabajo no podrá ser mayor que 20 páginas.

El autor principal deberá remitir su trabajo en soporte electrónico y diagramado en la forma propuesta para la versión final impresa.

Sólo se aceptarán trabajos realizados íntegramente en Microsoft Word.

Tablas y Figuras

Las figuras deberán ser ubicadas en el texto, en el lugar más cercano a su referencia, con números arábigos y leyendas explicativas al pie. Las imágenes fotográficas deberán estar al tamaño 1.1 a 300ppi, en formato tif, jpg o eps. Los gráficos o dibujos se presentarán, preferentemente, en vectores (formato .cdr o .ai); en el caso de estar presentados en forma de mapa de bits su resolución en 1.1 deberá ser mayor a 800 ppi. No podrán reproducirse figuras en color salvo en casos excepcionales que quedan a juicio del Comité Editorial, cuando el uso del mismo redunde en un cambio muy significativo de la comprensión técnica del trabajo.

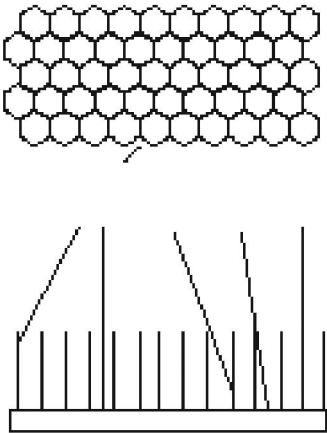


Fig. 1. Ejemplo de ubicación de la figura y su leyenda explicativa (centrada, en negrita y fuente 10)

Las tablas se incluirán en el lugar más cercano a su referencia, con números arábigos y acompañadas con un título auto-explicativo en el encabezado.

Tabla 1. Ejemplo de formato para tabla y título (centrada, en negrita y fuente 10)

Magnitud	Condición A	Condición B
Magnitud A	1a	1b
Magnitud B	2a	2b

Agradecimientos

Los agradecimientos deberán ser escuetos y específicos, vinculados al trabajo presentado. Serán suprimidos los de naturaleza general o no aplicables a la contribución.

Referencias

Las referencias se consignarán en el texto indicando el apellido del autor (o primer autor, en trabajos de autoría múltiple) y el año de la publicación. Ejemplos: Gould (1958); Sah y Brown (1997); Probst y colaboradores (1997). Cuando la referencia se coloque a continuación de una oración completa en el texto, la forma indicada se convertirá en: (Gould, 1958). Las referencias múltiples se indicarán bajo un único par de paréntesis; ejemplo: (Sah y Brown, 1997; Probst y colaboradores, 1997). El ítem Referencias contendrá todas las citas consignadas en el texto, ordenadas alfabéticamente, tomando el apellido del primer autor. Los artículos incluidos en publicaciones colectivas deberán figurar en el orden: apellido e iniciales de todos los autores; entre paréntesis, año de publicación; abreviatura internacionalmente aceptada de la publicación; volumen; primera página del artículo. Las referencias a libros consignarán iniciales y apellido de todos los autores; título; página (si corresponde); editorial: Ejemplos:

GOULD, E. S. (1958) *Curso de Química Inorgánica*. Selecciones Científicas, Madrid, España.

PROBST, T.; BERRYMAN, N.; LARSSON, B. (1997) Anal. Atom. Spectrom. 12, 1115.

SAH, R.; BROWN, P. (1997) Microchem. J., 56, 285.

No deberán incluirse, bajo el ítem **Referencias**, citas bibliográficas no mencionadas específicamente en el texto del trabajo.

Mecanismos de Aceptación y Normativa General

Los trabajos serán revisados por reconocidos especialistas, designados por el Comité Editorial. El dictamen será, en cada caso: a) aprobado en su versión original; b) aprobado con pequeñas modificaciones; c) revisado, con necesidad de modificaciones significativas; d) rechazado. En los casos diferentes a su aprobación directa, el trabajo será enviado al autor principal. Cuando se trate de cumplir con modificaciones sugeridas por los árbitros, el trabajo será sometido a una nueva evaluación.

El envío de una contribución para Proyecciones supone que ésta no ha sido publicada previamente y, adicionalmente, la cesión de los derechos de publicación por parte de los autores. Cuando el trabajo ha sido ya presentado en una reunión científica (sin publicación de actas) o inspirado en una presentación de esta naturaleza, se aconseja citar la correspondiente fuente. Con el fin de formalizar la cesión de los derechos antes mencionados, el autor principal deberá cumplimentar el formulario de Autorización y Declaración Jurada para la Publicación de un Artículo que se encuentra a continuación. El mismo deberá ser completado, firmado y remitido al Comité Editorial como requisito previo a la publicación.

Autorización y Declaración jurada para la publicación de un artículo

1. Identificación del trabajo:

Título: _____
Área de conocimiento: _____
Nº de páginas del trabajo: _____
Fecha de envío del archivo y del soporte magnético: _____ / _____ / _____

2. Identificación del autor/a:

Nombre y Apellido del Autor/a: _____
Tipo y Nº de documento: _____
Domicilio: _____

3. Identificación Institucional:

Universidad y/o organismo: _____
Dependencia / departamento: _____
Domicilio: _____

En calidad de titular de los derechos de autor del mencionado trabajo, **autorizo** a la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional, **a publicar, sin resarcimiento de derechos de autor**, conforme a las condiciones arriba indicadas, en medio electrónico, en la red mundial de computadoras, en la colección de proyectos de investigación de la Facultad Regional Buenos Aires, en su versión en línea e impresa y sitios en las que esta última haya otorgado licencias, para fines de lecturas, impresión y/o descarga por Internet, **a título de divulgación de la producción científica generada por la Universidad**, a partir de la fecha.-----

Deslindo a la Facultad Regional Buenos Aires y a la Universidad Tecnológica Nacional de toda responsabilidad legal que surgiera por reclamos de terceros que invoquen la autoría del artículo cuya publicación se efectúe.-----

He sido informado que puedo registrar mi trabajo de investigación en el Registro de la Propiedad Intelectual, no siendo responsable la Universidad Tecnológica Nacional y/o Facultad Regional Buenos Aires por la pérdida de los derechos de autor por falta de realización del trámite ante la autoridad pertinente.-----

Asimismo, quedo notificado que para obtener el título de "Patente de Invención" es necesario presentar la solicitud de patente dentro del año de la publicación o divulgación. (art. 5 Ley 24.481).-----

Declaro bajo juramento que el presente trabajo es una obra inédita, verídica y todos los datos e información consignados en el mismo se encuentran bajo mi exclusiva responsabilidad. Garantizo que la obra no contiene ningún planteamiento ilícito y que no infringe algún derecho de otros.-----

Nombre y Apellido

Firma

DNI/ LC /LE /Pasaporte



Doctorado, Maestrías y Carreras de Especialización

Doctorado en Ingeniería

Mención en Procesamiento de Señales e Imágenes

Doctorado en Ingeniería

Mención en Tecnologías Químicas

Maestría en Administración de Negocios

Maestría en Docencia Universitaria

Maestría en Ingeniería Ambiental

Maestría en Ingeniería en Calidad

Maestría en Ingeniería en Sistemas de Información

Maestría en Tecnología de los Alimentos

Maestría en Procesos Biotecnológicos

Maestría en Ingeniería Estructural

Maestría en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana

Especialización en Docencia Universitaria

Especialización en Ergonomía

Especialización en Higiene y Seguridad en el Trabajo

Especialización en Ingeniería Ambiental

Especialización en Ingeniería en Calidad

Especialización en Ingeniería en Sistemas de Información

Especialización en Ingeniería Gerencial

Especialización en Tecnología de los Alimentos

Especialización en Ingeniería en Telecomunicaciones

Carreras de Grado

Ingeniería Civil

Ingeniería Eléctrica

Ingeniería Electrónica

Ingeniería Industrial

Ingeniería Mecánica

Ingeniería Naval

Ingeniería en Sistemas de la Información

Ingeniería Química

Ingeniería Textil

Ciclos de Licenciatura

Licenciatura en Ciencias Aplicadas

Licenciatura en Tecnología Educativa

Licenciatura en Gestión de la Producción Gráfica

