

Proyecciones

Volumen 13

Número 1

Abril, 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. 5191255
(Versión impresa)

Registro de la
Propiedad
Intelectual
No. 5191254
(Versión en línea)

Propietario

*Facultad Regional Buenos Aires
Medrano 951 (C1179AAQ)
Buenos Aires, República Argentina*



UTN.BA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES

Proyecciones

Volumen 13

Número 1

Abril, 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

Publicación de la Facultad Regional Buenos Aires

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 descrita 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 www.sectip.frba.utn.edu.ar/proyecciones.

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** **Simulación computacional de fluidos con CFD para el aprovechamiento de la energía undimotriz en sistemas OWC²**
Pablo Patricio Valdez
- 31** **Atlas argentino de emisiones de carbono debido al sector transporte**
Salvador Enrique Puliafito, David Allende, Sebastián Pinto, Ariel Werner, Paula Castesana
- 47** **Ciclo energético sustentable productor de biogás**
Nahuel Casá, Fernando Scattolin, Nicolás Galante, Patricia Della Rocca, Horacio Trigubó
- 55** **Actitudes y aptitudes emprendedoras de los estudiantes de ingeniería de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional**
Sebastián Brie, Julieta Ursino, Pablo Sierra
- 69** **Revisión de los métodos en el cálculo del costo de deuda como componente de la tasa de descuento en proyectos de inversión en pequeñas y medianas empresas**
Carlos Emilio Martínez, Juan Santiago Ledesma, Alfredo Octavio Russo
- 79** **Papas fortificadas con calcio y vitamina C conservadas por osmodehidrocongelación y envasadas en atmósfera modificada**
Luis Alberto Roche, Reynaldo J. Silva Paz, Juan Miguel Languasco, Patricia A. Della Rocca, Rodolfo Horacio Mascheroni
- 89** **Evaluación de la calidad de TRAM en la detección de fallas de fabricación en circuitos integrados analógicos fabricados en tecnología CMOS de 500nm**
Sebastián Pazos, Fernando Aguirre, Tomás Mazur, Gabriela Peretti, Eduardo Romero

Editorial

Amigos lectores de Proyecciones,

Comenzamos un nuevo año con la fuerza y la esperanza que hacen falta para contribuir al desarrollo del conocimiento y de nuestro país desde la facultad de ingeniería más grande de Argentina.

Entre las actividades destacadas de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Investigación Productiva (SECTIP) deseamos mencionar el proceso para categorización y recategorización del Programa de incentivos a docentes investigadores, al que estamos abocados para su presentación ante el Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Nación.

Asimismo, la SECTIP vuelve a presentar una vez más este año, las Becas de iniciación en investigación y desarrollo para jóvenes graduados de la UTN (BINID) y, para los alumnos de grado, las de la Secretaría de Asuntos Estudiantiles (SAE) cuyo número de investigadores ha crecido exponencialmente.

Por otra parte, y en respuesta a la convocatoria realizada por la Secretaría de Políticas Universitarias de la Nación, **Fortalecimiento de Redes Interuniversitarias VIII**, a través del Programa de Promoción de la Universidad Argentina, la FRBA presentó un proyecto que resultó ganador. El mismo se desarrollará durante el año 2015 en red con la Universidad Nacional de Quilmes, la Universidad de Jujú (UNIJUJ), Río Grande do Sul, Brasil y la Universidad Santo Tomás de Aquino de Tucumán. El objeto de esta convocatoria es el de promover asociaciones para la investigación, intercambio de estudiantes, docentes, investigadores y especialistas, facilitando la difusión de producciones científicas y culturales del país.

Para la FRBA las actividades de ciencia, tecnología, innovación, desarrollo tecnológico y emprendedorismo son prioritarias, y por ello le destinamos recursos materiales y humanos. Lo hace la Facultad a través de sus órganos de gobierno, bajo la visión estratégica de que el futuro del país necesita de ingenieros relacionados con actividades tecnológicas y de conocimiento. Argentina necesita muchos y buenos ingenieros, y si están relacionados con estas actividades mucho mejor.

La revista Proyecciones es un ejemplo de esta visión ya que la concebimos como uno de los aportes que realiza nuestra institución desde y hacia el campo de la ciencia.

Proyecciones es posible gracias al trabajo, el esfuerzo y el talento de personas concretas: su Comité Editorial, el Consejo Editorial, los autores de los trabajos publicados y el staff de la Facultad relacionado en mayor o menor grado con la revista.

Muchas gracias a todos ellos.

Presentación

Es para mí un gusto presentar el primer número del año 2015 de Proyecciones, la revista científica de nuestra Facultad.

El primer artículo consiste en un estudio mediante la aplicación de un simulador computacional (CFD) para el aprovechamiento de la energía de las olas oceánicas. Para ello se analizó mediante el método de columna de agua oscilante (OWC), el caso del grupo turbinado, validándose posteriormente los resultados obtenidos con datos experimentales publicados. Se muestran los detalles constitutivos del grupo turbinado y se describe la resolución numérica mediante la técnica de volúmenes finitos de los balances de masa, energía y cantidad de movimiento. El trabajo se denomina *“Simulación computacional de fluidos con CFD para el aprovechamiento de la energía undimotriz en sistema OWC”*, su autor es P. P. Valdez y fue realizado en el Departamento de Ingeniería Energética y Fluidodinámica de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, España.

El siguiente artículo *“Atlas argentino de emisiones de carbono debido al sector transporte”* propone una metodología sencilla para preparar un inventario de emisiones de la actividad vehicular vehículo-Km transportados (VKT). Su utilidad radica en el aporte de información local y urbana de la distribución de combustible. El presente estudio se constituye en un verdadero desafío tanto por la extensión de las escalas utilizadas como por el aporte de datos organizados frente a la escasez de los mismos por parte de organismos del sector transporte. A partir de esta investigación sus autores S. E. Puliafito, D. Allende, S. Pinto, A. Werner y P. Castesana sostienen que en un futuro podrá confeccionarse un atlas de mayor resolución espacial.

A continuación se presenta una investigación cuyos aspectos experimentales fueron realizados en forma conjunta en los laboratorios de Ingeniería Química de la FRBA, del CIDCA en la UN de La Plata y del Centro de Investigación y Desarrollo de Envases y Embalajes del INTI. Se aplicó la combinación de métodos usando deshidratación osmótica e impregnación por pulsos de vacío (en la FRBA), precediendo a una etapa de congelación en un túnel de bandejas piloto (CIDCA) y posterior envasado en atmósfera modificada (INTI). Se verificó mediante análisis químicos y bacteriológicos el aumento en los contenidos de calcio y vitamina C en el producto terminado y, la prolongación de su vida útil. Este artículo se titula *“Papas fortificadas con calcio y vitamina C conservadas por osmodehidrocongelación y envasadas en atmósfera modificada”*, sus autores son L. A. Roche, R. J. Silva Paz, J. M. Languasco, P. A. Della Rocca y R. H. Mascheroni.

El trabajo siguiente estudia la importancia de fomentar aptitudes y actitudes emprendedoras e innovadoras en los profesionales de ingeniería para propender a la creación de Empresas de Base Tecnológica (EBTs). Se investiga en qué medida los alumnos de la FRBA UTN poseen las mencionadas aptitudes y actitudes, como punto de partida para el estudio y diseño de nuevas intervenciones pedagógicas. Dichas intervenciones se deberían diseñar dentro de un marco formal, con participación conjunta y sinérgica de las áreas académica, de vinculación y transferencia y, de los departamentos de carreras de grado, ya que todos los factores institucionales gravitan de manera decisiva en los procesos de aprendizaje y de desarrollo de las innovaciones.

El estudio se denomina *“Actitudes y aptitudes emprendedoras de los estudiantes de ingeniería de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional”* y sus autores son S. Brie, J. Ursino y P. Sierra.

El artículo que lo sigue se denomina *“Ciclo energético sustentable productor de biogás”* son sus autores N. Casá, F. Scattolin, N. Galante, P. Della Rocca y H. Trigubó. Se trata de un trabajo experimental en el que se demostró la factibilidad de un ciclo energético con mínimo impacto ambiental basado en producir biogás a partir de residuos de biomasa algal. Previamente se extrajeron compuestos de valor industrial de esa biomasa. El biogás obtenido permite el accionamiento de un motor de combustión conectado a un generador eléctrico. Los gases de escape de dicho motor permiten alimentar por burbujeo el fotobiorreactor de cultivo de las algas.

La propuesta de C. E. Martínez, J. S. Ledesma y A. O. Russo *“Revisión de los métodos en el cálculo del costo de deuda como componente de la tasa de descuento en proyectos de inversión en pequeñas y medianas empresas”* identifica y presenta tres metodologías para realizar el cálculo del costo de deuda de una pequeña o mediana empresa (PyMEs), no cotizante en bolsa. La primera basada en el “cálculo del costo promedio ponderado”, la segunda consiste en la aplicación de “un modelo enfocado en el análisis tanto de los flujos y plazos, como de los gastos asociados a los contratos” y la tercera en la “discriminación y ponderación los costos de deuda particulares, a los que se incorporan, además, el costo de los alquileres de activos fijos que contrata la empresa”. Todas permiten tener un detalle estructurado de las formas de pagos de las distintas financiaciones con terceros y sirven para calcular en forma fina el costo financiero real de la empresa y evitar potenciales problemas de liquidez.

El último artículo busca determinar en forma más precisa la capacidad del Método de Análisis Transitorio (TRAM), mediante modelos de simulación de mayor exactitud que los utilizados en trabajos previamente reportados. Para ello, los autores S. Pazos, F. Aguirre, T. Mazur, S. Verrastro, G. Peretti y E. Romero han diseñado un filtro en tecnología CMOS de 500nm con un enfoque totalmente a medida (*full custom*). El trabajo titulado *“Evaluación de la calidad de TRAM en la detección de fallas de fabricación en circuitos integrados analógicos fabricados en tecnología CMOS de 500nm”* presenta la característica de haber utilizado los modelos de simulación SPICE a nivel de transistor para los procedimientos de inyección y simulación de fallas, lo cual marca una diferencia considerable con los trabajos previos que consideraban fallas paramétricas pero utilizaban simulaciones a nivel de ecuaciones.

Aspiramos a que este número de Proyecciones contribuya al avance del conocimiento y al aporte de las ingenierías al desarrollo tecnológico del país.

Simulación computacional de fluidos con CFD¹ para el aprovechamiento de la energía undimotriz en sistemas OWC²

Pablo Patricio Valdez

Universidad de Valladolid, España – Escuela de ingenierías industriales. Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica. Paseo del cauce 59, (47011) Valladolid, España.
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Mecánica, Medrano 951, (C1179AAQ) Buenos Aires, Argentina

pablopatriciovaldez@yahoo.com

Recibido el 10 de noviembre de 2014, aprobado el 19 de diciembre de 2014

Resumen

El presente trabajo es la descripción de la secuencia metodológica de procesos que concluye con los resultados obtenidos a través de simulación computacional CFD (*Computational Fluid Dynamics*) para el aprovechamiento de energía oceánica. El campo de aplicación de las herramientas CFD posee innumerables opciones para su utilización en recursos renovables, aquí nos centraremos en el método denominado de columna de agua oscilante, OWC (*Oscillating Water Column*), en el cual se convierte la energía de las olas en energía neumática para luego ser convertida en mecánica a través de una turbina reversible.

Para que los resultados obtenidos fuesen reconocidos por la comunidad científica internacional se optó por el análisis de un sistema en particular correspondiente al comportamiento del grupo turbinado para el ciclo sinusoidal que describen las olas, desarrollando el modelo físico y numérico de la turbina; el cual ha sido modelizado mediante condiciones de contorno estacionarias y posteriormente validado a través de resultados de publicaciones correspondientes a instalaciones experimentales.

PALABRAS CLAVE: MECANICA DE FLUIDOS – CFD - FLUJOS DE FLUIDOS – TURBINAS - RECURSOS MARINOS RENOVABLES

Abstract

This paper aims is the methodological description of processes, concluding with the obtained results, of Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations for harnessing ocean energy. There are countless applications for the tools of CFD in renewable resources, our focus is the method known as oscillating water column (OWC), which converts the energy of waves on pneumatic power to be converted into mechanical through a reversible turbine. In order that obtained results could be recognized by the international scientific community we opted for the analysis of a particular system for the behavior of the twin turbines configuration for the sine wave cycles, developing physical and numerical model of the turbine, which has been modeled by stationary boundary conditions and subsequently validated by results of relevant publications for experimental facilities.

KEYWORDS: FLUID MECHANICS – CFD - FLUID FLOW – TURBINES - MARINE RENEWABLE RESOURCES

¹ CFD: Computational Fluid Dynamics

² OWC: Oscillating Water Column.

Introducción

Los océanos son una fuente de energía renovable que se manifiesta a través de diferentes fenómenos: mareas (mareomotriz), corrientes marinas, gradiente térmico (mareotérmica), gradiente salino y olas (undimotriz).

La energía mareomotriz transforma la diferencia de alturas entre la pleamar y la bajamar en un salto hidráulico aprovechable mediante turbinas hidráulicas convencionales, Figura 1. Los saltos son de escasa altura y elevado caudal, por lo que se necesitan turbinas de alta velocidad específica (bulbo, kaplan, hélice y straflo).

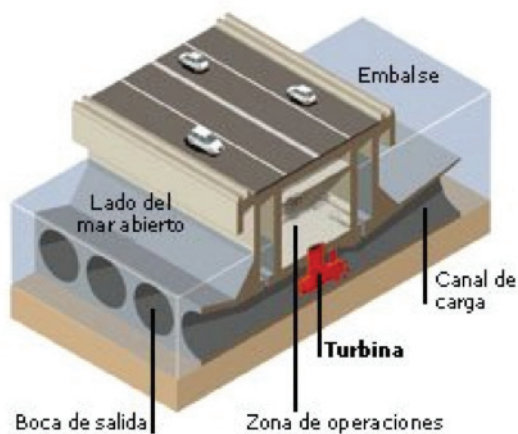


Fig. 1. Descriptivo de una central mareomotriz (catedu.es)

Las corrientes marinas son producto de las mareas o de la diferencia de densidades. La tecnología para su aprovechamiento consiste en turbinas sumergidas, haciendo uso de tecnologías parecidas a las empleadas en la energía eólica, Figura 2.



Fig. 2. Turbina para corrientes marinas (energías-renovables.com)

Existe también un recurso que es aprovechable y se manifiesta a medida que aumenta la profundidad del mar, la temperatura disminuye. Este gradiente de temperaturas se puede utilizar en un motor térmico que realice un ciclo termodinámico con la superficie como foco caliente y el agua a una profundidad determinada como foco frío.

Refiriéndonos a energía undimotriz las olas son oscilaciones periódicas en la superficie del mar. Se forman por la acción del viento y descargan la energía acumulada (combinación de energía cinética con energía potencial) en los obstáculos que encuentran por el camino. Como toda oscilación periódica, las olas se caracterizan por la amplitud, la longitud de onda y el periodo.

Los dispositivos para la extracción de energía undimotriz son variados, una de las metodologías difundidas se basa en cuerpos flotantes que se desplazan ascendiendo y descendiendo de acuerdo al paso de las olas. Ejemplo de este sistema es el Pelamis, Figura 3, que consiste en una estructura articulada de gran longitud y diámetro, compuesta por varios segmentos, que actúa como atenuador que es utilizado para bombear aceite y así mover el accionamiento de un motor hidráulico.

Existen también instalaciones que almacenan la energía de las olas en un depósito elevado, este ascenso se logra con la misma energía que contienen las olas a través de canales convergentes que la dirigen al depósito. El flujo de agua que sale del depósito se utiliza para generar electricidad mediante turbinas hidráulicas (Kaplan o Bulbo). El ejemplo típico de este tipo de instalaciones es el *Wave Dragon*, de la siguiente figura.

Por último, se describe el Sistema de Columna Oscilante de Agua (OWC) que es el correspondiente a la tecnología escogida en el presente artículo y cuyo principio de funcionamiento radica en el fenómeno que se evidencia por la radiación solar que incide sobre la superficie de la Tierra provocando un calentamiento desigual y que produce en la atmósfera zonas con distinta presión, esto se traduce en desplazamientos de aire de uno a otro lugar, es decir generando vientos. Estos al desplazarse sobre la superficie del mar transfieren a ésta parte de su energía y generan las olas que acumulan esa energía y la transportan de un lugar a otro hasta acabar en las costas.



Fig. 3. Pelamis (www.pelamiswave.com)

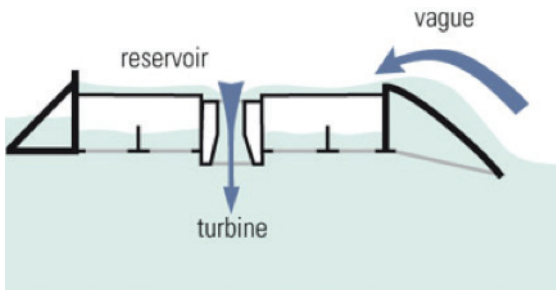


Fig. 4. Wave Dragon (www.wavedragon.net)

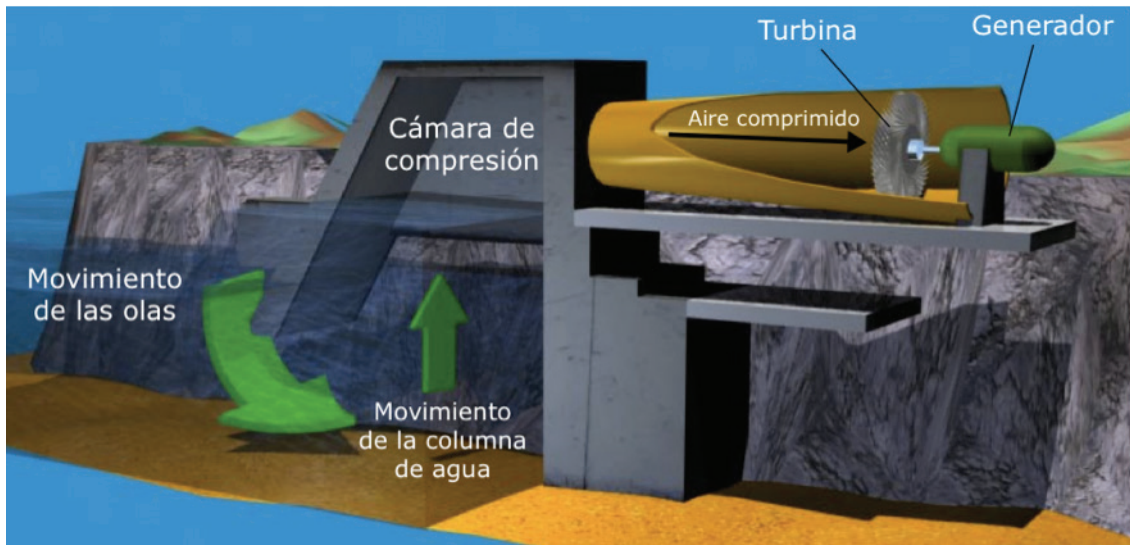


Fig. 5. Instalaciones de columna oscilante de agua (OWC) (comunidad.eduambiental.org)

Los dispositivos basados en la tecnología OWC aprovechan la oscilación natural de la superficie libre del agua, causada por las olas, para generar una corriente de aire. Dicha corriente de aire circula por una turbina conectada a un generador eléctrico.

Los tres componentes principales que forman una planta OWC son: cámara, turbina y ge-

nerador, tal como se observan a continuación.

El potencial energético de las olas es muy grande, las zonas de mayor potencial son las áreas costeras de las costas atlánticas europeas, Australia, el sur de África, Japón, el sur de América del Sur y el oeste de América del Norte.

Todos los sistemas transformadores de energía undimotriz deben hacer frente a tres proble-

mas fundamentales: maximizar el rendimiento para un oleaje irregular, aguantar las cargas estructurales en condiciones climáticas extremas y acoplar la lenta frecuencia de las olas con la de la red eléctrica.

Antecedentes

En 1976, el profesor Alan Wells (Queen's University, Belfast) desarrolló la primera turbina autorrectificante: la turbina Wells, Figura 6.

Su principal inconveniente es que el rango de caudales con rendimiento aceptable es muy

estrecho, ya que los álabes entran en pérdida con facilidad a caudales aún bajos, una vez superado el pico de rendimiento máximo. También sus típicas elevadas velocidades de rotación (> 1500 rpm) se traducen en vibraciones y ruidos no deseados, (Takao, 2002 y Tease, 2007).

Una alternativa fue la turbina de impulso axial, Figura 7, propuesta en 1988 por Kim (Thakker 2005) para resolver los inconvenientes de la turbina Wells; trabajos posteriores sobre este diseño han llegado a la conclusión de que es superior a la turbina Wells (Kaneko 1992).

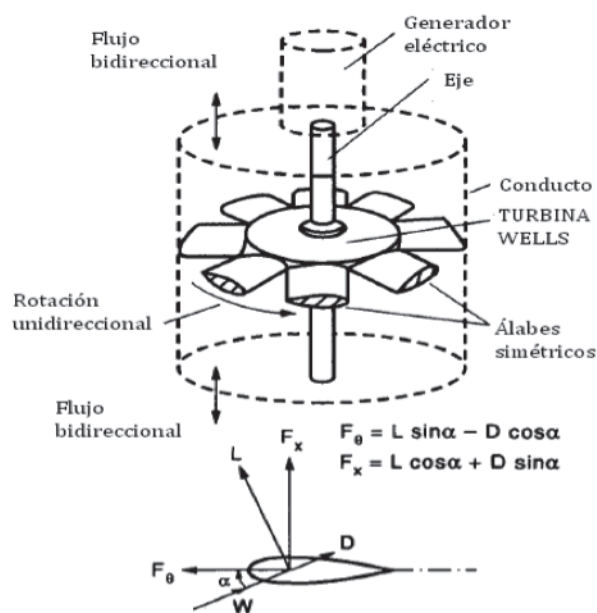


Fig. 6. Esquema de la turbina Wells (Raghunathan, 1995)

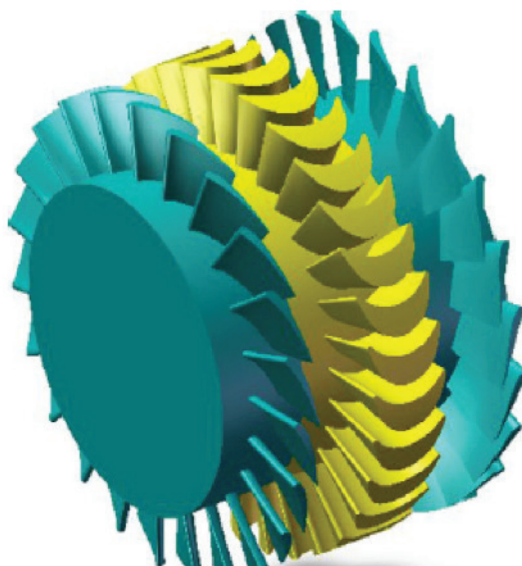


Fig. 7. Turbina de impulso axial (www.autogreen.ro)

Una de las formas de clasificar las turbinas de impulso es según el sentido en que el aire la atraviesa, así se tienen las turbinas axiales, citadas en el párrafo precedente, y turbinas radiales que McCormick presentó años más tarde (McCormick, 1993).

Estudios posteriores concluyen que la potencia máxima es mayor para la turbina axial (Setoguchi, 1996 y Takao, 2002) aunque indican que en la zona de operación donde las presiones son máximas, la turbina radial era la que más energía extraía pero la de menor rendimiento medio, analizando un rango completo de operación.

El paso siguiente en el desarrollo de las turbinas de impulso axial fue implementar configuraciones que poseen dos turbinas de este tipo, a los que se llamará en el presente artículo "grupo turbinado" para diferenciarlas de la turbina individual. Estas configuraciones se crearon con el objetivo de aprovechar en mayor medida, que en los sistemas precedentes, el trabajo generado por los dos semi ciclos describen una ola. Se obtiene que estos grupos turbinados brindan, en el rango completo de operación, rendimientos mayores (Maeda, 2001), (Takao, 2011), (Jayashankar, 2009), (Mala, 2011) y (Takao, 2012).

Finalmente el trabajo realizado por Jayashankar, 2010, fue la idea original que des-

pertó el interés en desarrollar un estudio con mayor profundidad a través de simulaciones CFD, Figura 8.

Para concluir el apartado "Antecedentes" se presenta a continuación un listado simplificado de las plantas experimentales OWC existentes en el mundo, detallando que las instalaciones que funcionan con sistemas OWC son plantas pilotos que nutren de resultados reales al desarrollo de las investigaciones.

- Sakata: es una planta OWC situada en Japón e integrada al propio rompeolas del puerto de ese país. Construida en el año 1989 para uso de investigación y desarrollo. Está equipada con turbina Wells de 60 kW.

- Mighty Wale: ubicada en la bahía de Gokasho, Japón. Se trata de una instalación flotante montada por el Centro de Ciencia y Tecnología Marina de ese país en el año 1998. Consta de tres turbinas Wells con generadores independientes de potencias nominales 50 kW, 30 kW y 10 kW, dispone de grandes bancos de baterías que permiten almacenar la energía generada.

- Vizhinjam: es una central construida en India para proyectos de investigación. Funciona con dos turbinas Wells con una potencia total de 100 kW.

- Limpet: construida en el año 2000 en Islay,

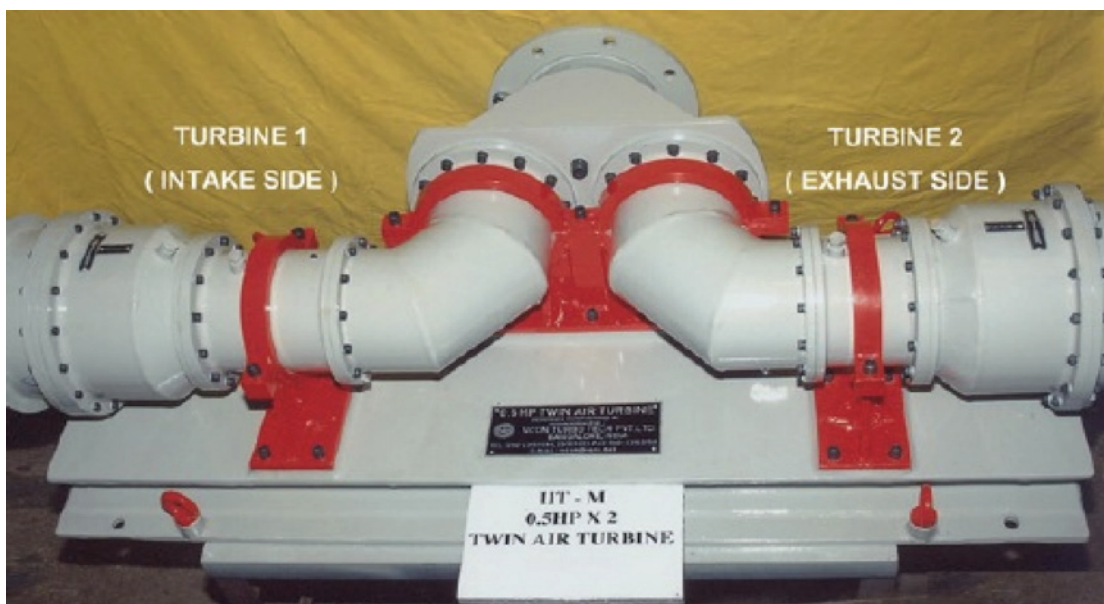


Fig. 8. Conjunto del grupo turbinado de dos turbinas axiales unidireccionales (Jayashankar, 2010)

Escocia, está equipada con una turbina Wells contrarrotante con aletas directrices y la potencia instalada es de 500 kW (Setoguchi, 2006), Figura 9.

- Pico: se ubica en las islas Azores, Portugal y finalizó su construcción en el año 1999 bajo la coordinación del Instituto Superior Técnico y la primera prueba se hizo efectiva recién en el año 2005. Problemas de vibraciones en la dupla turbina-generator entorpecieron el funcionamiento de la planta desde su creación. Equipada con una turbina Wells y un generador asíncrono (Setoguchi, 2006), Figura 10.

- Mutriku: La planta está integrada al puerto de Mutriku, España y fue un proyecto del Ente Vasco de la Energía de ese país. Se construyó para 16 cámaras-turbina (18,5kW c/u) y diseñada para inyectar a la red la electricidad producida, cuya potencia instalada total son 296 kW. Fue puesta en marcha en el año 2011, Figura 11.

- Zhelang Town (China): instalación piloto emplazada en China. Equipada con turbinas Wells, capaces de proporcionar una potencia de 100 kW.

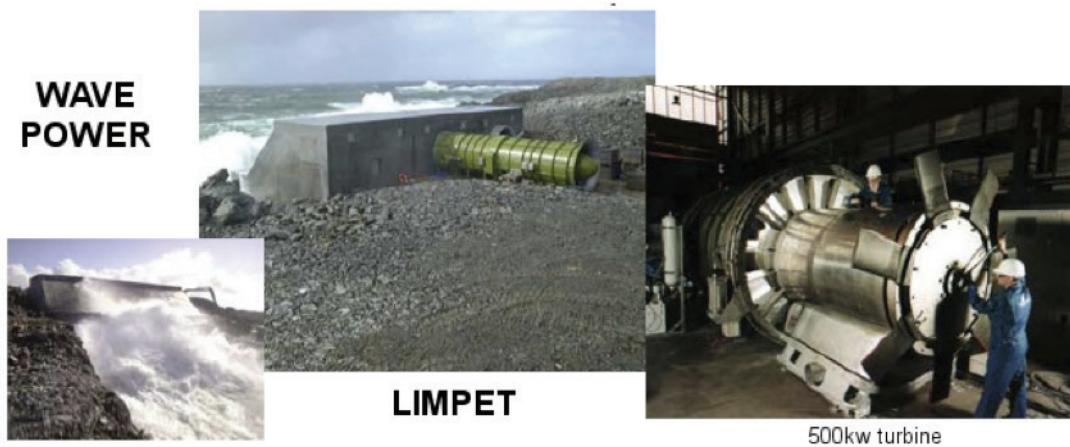


Fig. 9. Planta OWC Limpet, Escocia (scotsrenewables.com)



Fig. 10. Planta OWC Pico, Portugal (efacec.pt)

Justificación

La naturaleza de las olas divide el funcionamiento de los sistemas OWC en dos semi ciclos. El primero es cuando la ola avanza en dirección a la cámara e introduce agua, comprimiendo el aire disponible y elevando su presión; éste atraviesa la turbina y es expulsado a la atmósfera (se le denominara exhalación). Cuando la ola retrocede el agua abandona la cámara generando una depresión que aspira aire de la atmósfera y nuevamente éste circula a través de la turbina (se le denominara inhalación), así el esquema permite describir las dos etapas de conversión de energía neumática que se desarrollan por ciclo completo de oleaje incidente, Figura 12.

Se hace evidente que la turbina es el elemento central de la central OWC y el más complejo de diseñar debido a que trabaja en condiciones muy desfavorables: flujo bidireccional, régimen no estacionario y un amplio rango de situaciones de funcionamiento ya que la naturaleza del oleaje es muy irregular. Esta turbina debe estar optimizada para aprovechar tanto el semi ciclo de inhalación como el de exhalación, situación que lleva a adoptar una solución de compromiso que maximice el rendimiento medio durante el ciclo completo de oleaje.

El sistema de grupo turbinado posee dos turbinas axiales unidireccionales, esta configuración dispone de dos turbinas unidireccionales idénti-



Fig. 11. Planta OWC Mutriku, España (blogs.lainformacion.com)

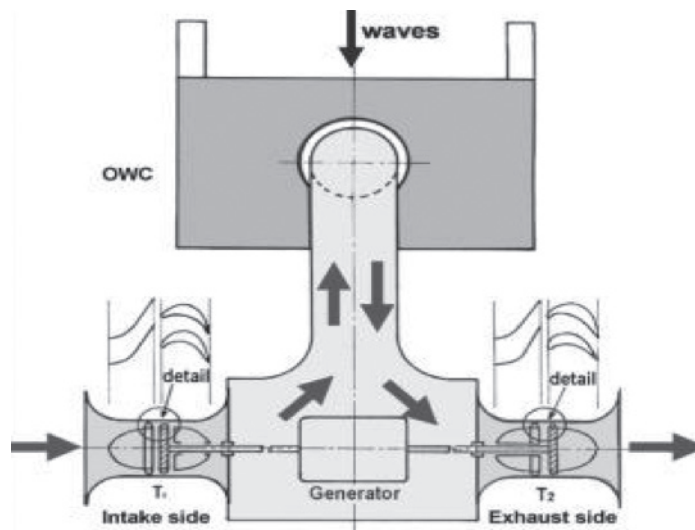


Fig. 12. Sistema de turbinas gemelas axiales unidireccionales (Jayashankar, 2010)

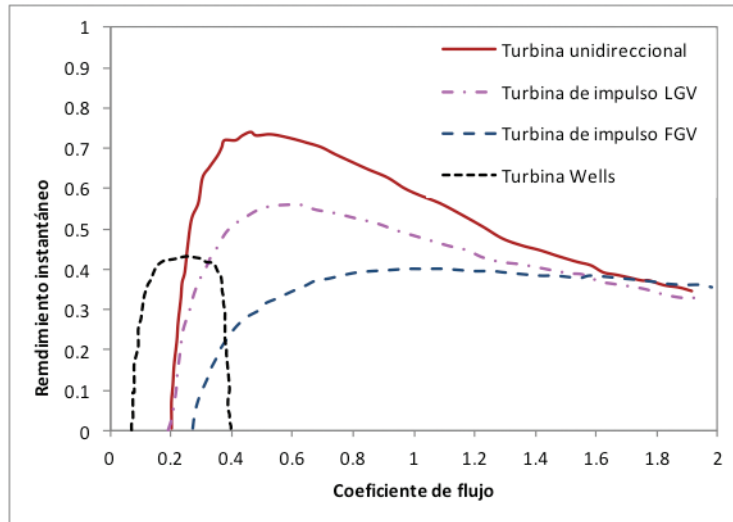


Fig. 13. Eficiencia de diferentes tipos de turbinas usadas en centrales OWC (Jayashankar, 2010)

cas (Jayashankar, 2010) y por su configuración se la identifica como un sistema de turbinas gemelas axiales unidireccionales, donde cada una de ellas extrae energía durante medio ciclo sinusoidal del oleaje cuando son sometidas al flujo bidireccional, (Takao, 2012).

Con esta disposición de dos turbinas para un salto de presión dado (independientemente de su signo) el aire es forzado hacia los conductos donde se encuentran las turbinas, es aquí donde la mayor parte del caudal disponible atraviesa una de las turbinas, pues la otra que trabaja en sentido inverso ofrece una resistencia mucho mayor al flujo, de esta forma se busca evitar fuga de caudal que no genera prácticamente trabajo.

Este sistema promete altas eficiencias en un amplio rango de caudales, como se requiere en las centrales OWC, Figura 13.

Las turbinas de impulso tienen un rendimiento instantáneo máximo menor que la turbina Wells, pero sus curvas de rendimiento son más anchas para el rango de caudales de trabajo y esto favorece para un aprovechamiento más uniforme para las condiciones variables del mar. Trabajan con caudales más grandes, arrancan con menores problemas y giran a velocidades menores que la turbina Wells. Es posible diferenciarlas en dos tipos, axiales o radiales.

Simulación de fluidos por CFD

El desarrollo de técnicas computacionales (Com-

putacional Fluid Dynamics - CFD) ha conseguido establecer un nuevo enfoque de gran utilidad para la caracterización y diseño de máquinas de fluidos. Inicialmente, debido a las limitaciones de cálculo, se comenzaron a utilizar estas técnicas en las fases de diseño, con el objetivo primordial de disminuir el número de ensayos en el laboratorio.

En la actualidad las simulaciones CFD permiten realizar diseños para compararlos con las instalaciones reales y de esta forma evaluar proyectos sin erogaciones importantes de dinero previo a la construcción de prototipos.

Así, el campo de aplicación de CFD ya no es sólo el diseño, sino que comenzó a emplearse para la descripción y caracterización del funcionamiento real de las máquinas. La complementación de enfoques, tanto numérico como experimental, han de ofrecer descripciones y resultados congruentes que validen la metodología empleada en el estudio de la máquina.

Las principales líneas de trabajo que se siguen en el desarrollo de técnicas CFD para el estudio de flujo en turbomáquinas son:

- Validación y mejora de los modelos físicos de turbulencia y transición.
- Desarrollo de sistemas para generación de mallas de alta calidad.
- Aplicaciones industriales para optimización de

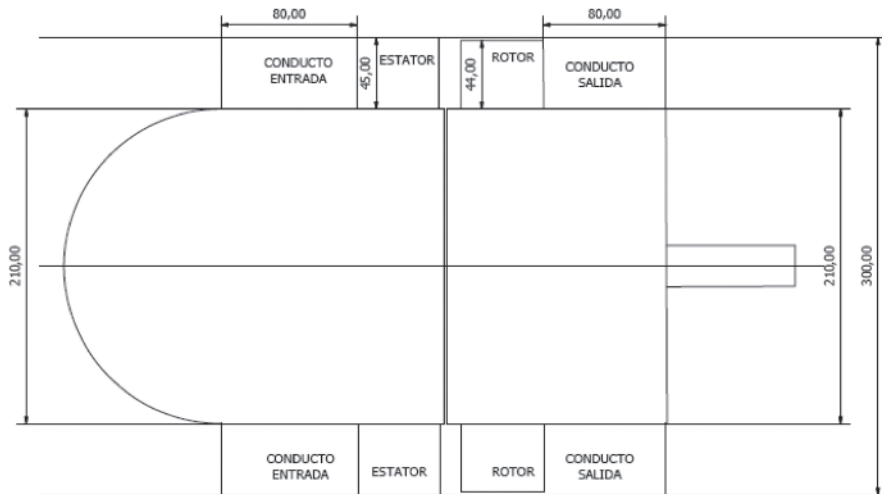


Fig. 14. Configuración de la turbina de impulso axial unidireccional y geometrías de aleta y álabe (Takao, 2011)

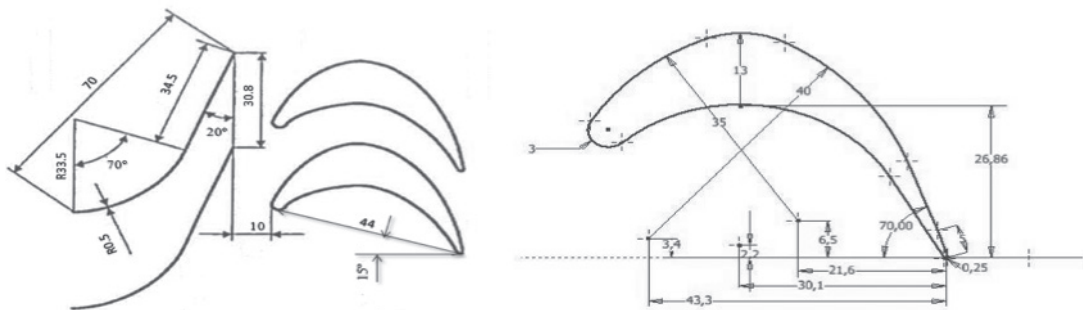


Fig. 15. Geometrías de aleta y álabe de la turbina (Takao, 2011)

la forma de los álabes.

- Reducción de tiempos de simulación.
- Simplificación de técnicas CAD/CAE para generación de geometrías y mallas.

El primer paso en la cadena de eventos para realizar una modelización por simulación CFD de un equipo mecánico con desplazamiento de fluido es describir la geometría y la configuración del sistema generador de energía; para el caso concreto del presente estudio se trata de una turbina de impulso axial. A posterior se indican las características y el desarrollo del modelo físico y numérico; finalmente se realiza la simulación computacional CFD.

El modelo objeto de estudio utiliza una única turbina para describir el funcionamiento real, correspondiente al grupo turbinado de dos turbinas que lo hace en ambos sentidos; esto se logra invirtiendo el sentido de flujo durante las

sucesivas simulaciones CFD que se han realizado. La geometría del modelo numérico, Figura 14, que será analizado posee las características siguientes:

Estator: es el elemento fijo y posee una corona compuesta de 20 aletas directrices y no posee holgura, se las dota de un espesor de 0,5 mm, Figura 15.

Rotor: es el elemento móvil de la turbina y está formado por 30 álabes, Figura 15.

Conducto de entrada: se lo representa con una longitud de 80 mm y diámetro 300mm, es idéntico al que conecta la cámara con el estator.

Conducto de salida: idéntica longitud que el anterior y representa al que conecta al rotor con la salida o atmósfera.

El modelo físico son una serie de ecuaciones diferenciales que describen los fenómenos físicos

que suceden entre el fluido y la turbina. El código Fluent resuelve estas ecuaciones de conservación de la masa, de energía y de cantidad de movimiento y así es posible conocer el comportamiento de una partícula fluida en el espacio y el tiempo. Para describir el flujo dentro de la turbina han sido utilizadas las ecuaciones de Navier-Stokes.

Es importante destacar que, aunque el fluido de trabajo sea aire, y dado que el número de Mach no supera el valor de 0,3 dentro de la turbina el flujo puede ser considerado incompresible. En esta situación es válido resolver el problema fluidomecánico con independencia del termodinámico. También como es un flujo isoterma, la viscosidad también es uniforme y constante.

En referencia a las condiciones de contorno de una turbina en una central OWC, que en la realidad funciona en forma no estacionaria porque sus condiciones de funcionamiento dependen del oleaje y por tanto se generan condiciones periódicas de caudal y presión; basándose en la hipótesis referida al tiempo de residencia de una partícula en la turbina, se puede suponer un funcionamiento cuasiestacionario, (Inoue, 1988).

Por tanto, asumiendo la hipótesis de cuasi-estacionariedad, el modelo numérico simula la turbina bajo condiciones de funcionamiento estacionarias, con condiciones de entrada y salida constantes para la velocidad y la presión respectivamente. No obstante, la resolución es no

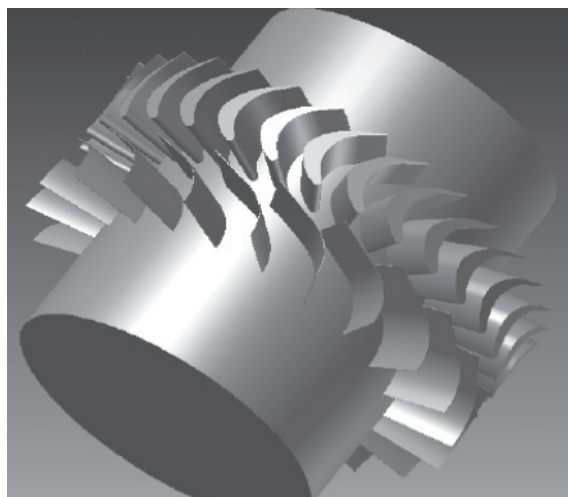


Fig. 16. Configuración de la turbina 3D para simulación CFD

estacionaria debido al movimiento relativo del rotor - estator.

Para el proceso de simulación CFD se reduce el dominio de cálculo a un solo sector angular, que representa al conjunto completo, Figura 16; esto es posible por la periodicidad del número de aletas y álabes de la turbina. Alternativa que ahorra recursos computacionales y tiempo en los resultados.

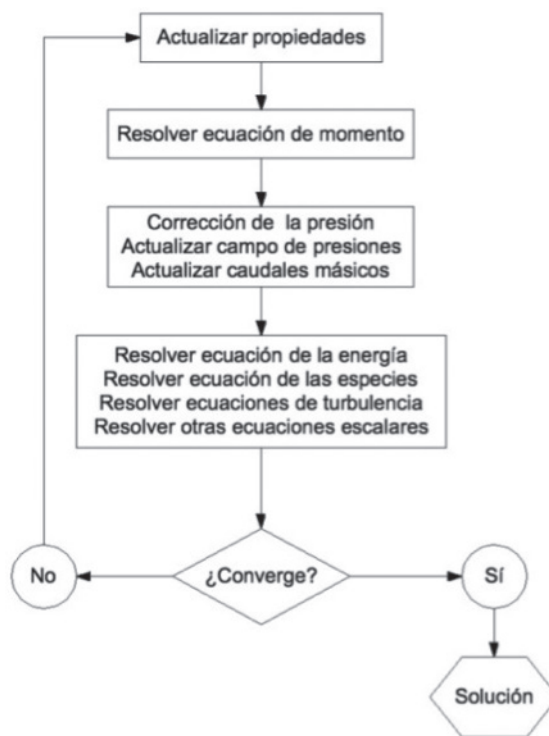


Fig. 17. Secuencia de la técnica de resolución (PBS) (www.fluent.com; figura original en inglés)

En el modelo numérico estudiado, debido a que no es posible resolver analíticamente las ecuaciones de Navier-Stokes, se hace necesario recurrir a un método de aproximación numérica; en Mecánica de Fluidos el método más utilizado es el método de volúmenes finitos, y consiste en discretizar el dominio del problema en pequeños volúmenes llamados celdas y aplicar los balances de masa, cantidad de movimiento y energía en cada uno; siendo el centroide de cada celda el punto representativo del dominio en el que almacenan los valores de la solución.

El Método de Volúmenes Finitos ofrece dos técnicas de resolución: *Density-Based Coupled Solver* (DBCS) y *Pressure-Based Solver* (PBS), siendo ésta última la escogida, que toma como

Construcción de geometrías	Autodesk© Inventor© 2011
Generación de mallas	GAMBIT© 2.4
Código CFD	ANSYS© Fluent© 12.1
Mallado 3D	Hexaédrico y tetraédrico, combinación de zonas estructuradas con no estructuradas.
Modelo físico	Fluido incompresible
Condiciones de contorno	Velocidad/Presión en la entrada Presión en la salida Periodicidad Entrefase Pared
Turbulencia	k-ε Realizable
Método de resolución	PBS transitorio SMM

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Resumen de las características del modelo numérico

variables principales la cantidad de movimiento y la presión, que es el interés del presente estudio, Figura 17.

La generación de un mallado es necesaria para la aplicación de las técnicas numéricas por el método de volúmenes finitos en la resolución de las ecuaciones del flujo, (Thakker, 2005).

El software empleado en la resolución del problema ha sido el código CFD comercial de uso general ANSYS© Fluent 12.1 y las geometrías se han construido con Autodesk Inventor 2011 y los mallados se han realizado con GAMBIT 2.4. El resumen de las características del modelo numérico se presentan en la Tabla 1.

Resultados

El proceso de validación se basa en la comparación de resultados experimentales con los resultados obtenidos del modelo numérico. Para validar el modelo numérico realizado se ha recurrido a resultados experimentales existentes en la bibliografía (Maeda, 2001, Mala, 2011 y Takao, 2011); a continuación se introduce la nomenclatura y los coeficientes adimensionales utilizados para analizar y comparar los resultados obtenidos por ensayos numéricos sobre el comportamiento de las turbinas.

Los coeficientes empleados son los siguientes:

Coficiente de caudal, ϕ

Coficiente de par, C_T

Coficiente de potencia consumida, C_A

Rendimiento, η

Coficiente de caudal: se trata de una variable para caracterizar cinemáticamente el punto de trabajo de la turbina. Representa la relación de velocidades entre el flujo y el álabe.

$$\phi = \frac{Q}{u_R A_R} = \frac{v_a}{u_R} \quad (1)$$

Coficiente de par: representa la potencia útil de la turbina, su valor se expresa en función del coeficiente de caudal.

$$C_T(\phi) = \frac{T_0 \omega}{\frac{1}{2} \rho (v_a^2 + u_R^2) b l z \omega r_R} = \frac{T_0}{\frac{1}{2} \rho u_R^2 (1 + \phi^2) b l z r_R} \quad (2)$$

Coficiente de potencia consumida: indica la energía que el fluido entrega al atravesar la turbina, también se suele expresar en función del coeficiente de caudal. Incluye tanto la potencia útil, como la de pérdida.

$$C_A(\phi) = \frac{\Delta P_0 Q}{\frac{1}{2} \rho (v_a^2 + u_R^2) Q} = \frac{\Delta P_0}{\frac{1}{2} \rho u_R^2 (1 + \phi^2)} \quad (3)$$

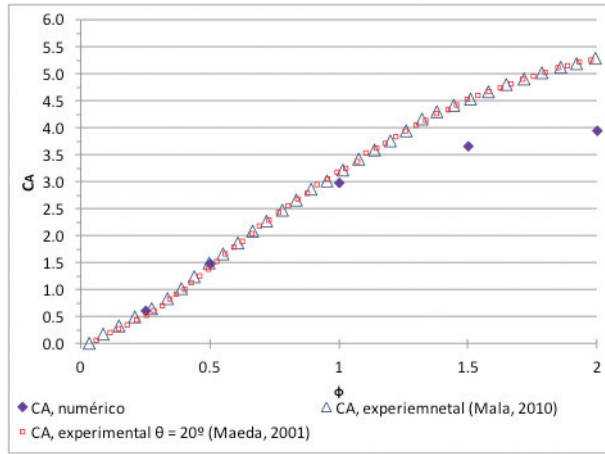


Fig. 18. Comparación CA experimentales y modelo numérico

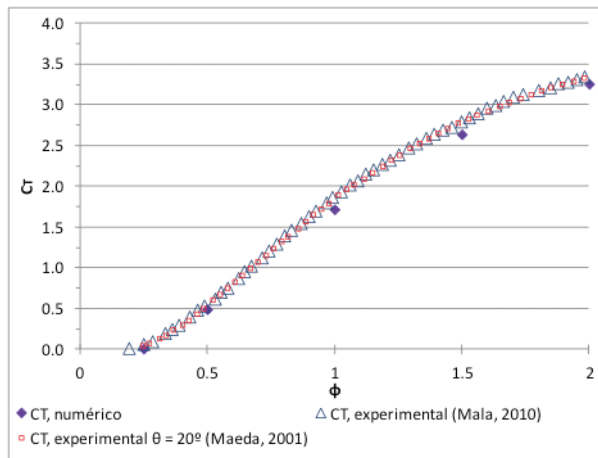


Fig. 19. Comparación CT experimentales y modelo numérico

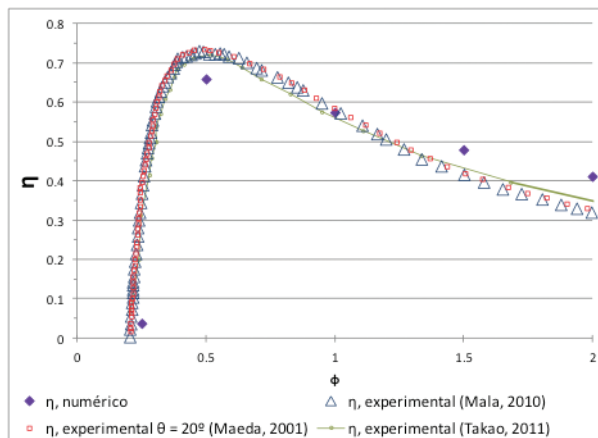


Fig. 20. Comparación eta experimentales y modelo numérico.

Rendimiento estacionario: representa el rendimiento instantáneo para unas condiciones de funcionamiento estacionarias de la turbina; se suele expresar en función del coeficiente de caudal ϕ .

$$\eta = \frac{T_0 \omega}{\Delta P_0 Q} = \frac{C_T}{C_A \phi} \quad (4)$$

A través de la simulación se obtienen los valores de los coeficientes adimensionales C_{Ar} , C_T y η para diversos valores del coeficiente de caudal φ (2; 1,5; 1; 0,5 y 0,25) escogidos, entonces es posible obtener un rango de funcionamiento caracterizado mediante varios puntos que conforma la curva de operación, que se comparan con los datos experimentales en esas mismas condiciones de funcionamiento.

Seguidamente se comparan los resultados experimentales frente a los numéricos para los coeficientes adimensionales C_{Ar} , C_T y η . Figura 18, Figura 19 y Figura 20.

Metodología para el cálculo del rendimiento medio

Para el grupo turbinado propuesto, que consta de dos turbinas idénticas, el rendimiento estacionario de una turbina en forma individual se considera insuficiente para poder describir el rendimiento global del grupo en su conjunto; entonces se hace necesario representar el rendimiento para todo el ciclo de la sinusoide de un análisis no estacionario. Este análisis es el habitual utilizado en publicaciones (Mala, 2011, Maeda, 2001 y Takao, 2011) y así pueden realizarse comparaciones entre turbinas.

Para esta configuración de dos turbinas el caudal que entrega la cámara se divide en partes desiguales y estos están asociados a la pérdida de carga que presenta cada una las turbinas.

Se muestran a continuación las relaciones que existen entre las variables que intervendrán en el cálculo; identificando con el subíndice "D" a la turbina que trabaja en sentido directo y genera el trabajo mayoritario, y con el subíndice "I" a la que lo hace en sentido inverso y aporta un trabajo casi nulo; explicando que ambas turbinas (Nº 1 y Nº 2) alternan continuamente su operación en sentido directo e inverso acompañando el ciclo sinusoidal de las olas¹.

Entonces se define con la Ecuación 5 al par total, compuesto por el generado en ambas turbina, y con la Ecuación 6 a la velocidad angular, que es coincidente en ambos sentidos; al igual que el diferencial de presión, Ecuación 7, y finalmente con la Ecuación 8 al caudal total, que se lo expresa como la suma de los caudales que circulan en cada turbina.

ción 7, y finalmente con la Ecuación 8 al caudal total, que se lo expresa como la suma de los caudales que circulan en cada turbina.

$$T_{Total} = T_D + T_I \quad (5)$$

$$\omega = \omega_D = \omega_I \quad (6)$$

$$\Delta P = \Delta P_1 = \Delta P_2 \quad (7)$$

$$Q_{Total} = Q_D + Q_I = Q_1 + Q_2 \quad (8)$$

Expresando el rendimiento medio del grupo turbinado en forma general, ecuación 9:

$$\bar{\eta}_{GT_D+I} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T T_{Total} \omega . dt}{\frac{1}{T} \int_0^T \Delta P Q_{Total} . dt} \quad (9)$$

Considerando ambas turbinas el rendimiento medio del grupo turbinado lo expresamos con la Ecuación 10.

$$\bar{\eta}_{GT_D+I} = \frac{\frac{1}{T} (\int_0^T T_D \omega + \int_0^T T_I \omega) . dt}{\frac{1}{T} (\int_0^T (\Delta P \cdot Q_D + \int_0^T \Delta P \cdot Q_I) . dt)} \quad (10)$$

Donde las unidades de medida utilizadas en las variables serán: T: período (s), T_D , T_I : par (Nm), Q_D , Q_I : caudales (m³/s) y ΔP : diferencia de presión, en valor absoluto, entre cámara y salida de turbina (Pa).

Si la Ecuación 10 se multiplica y divide por el caudal que circula en sentido directo (Q_D) se obtienen dos factores; y la descomposición permite identificar en el primer factor el rendimiento medio volumétrico ($\bar{\eta}_v$) y en el segundo factor el rendimiento medio de las turbinas, expresado según la opción adoptada en la presente tesis que considera el par generado en ambos sentidos (T_D y T_I), Ecuación 11.

$$\bar{\eta}_{GT_D+I} = \frac{\frac{1}{T} (\int_0^T \Delta P \cdot Q_D) . dt}{\frac{1}{T} (\int_0^T (\Delta P \cdot Q_{Total}) . dt)} \cdot \frac{\frac{1}{T} (\int_0^T \omega \cdot (T_D + T_I) . dt)}{\frac{1}{T} (\int_0^T (\Delta P \cdot Q_D) . dt)} \quad (11)$$

¹ Ver cuadro con la nomenclatura y unidades utilizadas en la página 30.

Asimismo, se considera idóneo asemejar el comportamiento del funcionamiento que describen las turbinas de impulso a la relación entre las variables: ΔP y Q a curvas parabólicas en ambos sentidos (directo e inverso), (12 y 13); y seguidamente se sustituyen al primer factor de la Ecuación 11 para definir el rendimiento volumétrico, (14).

$$Q_D \approx k_D \sqrt{\Delta P} \quad (12)$$

$$Q_I \approx k_I \sqrt{\Delta P} \quad (13)$$

$$\bar{\eta}_V = \frac{\frac{1}{T} \left(\int_0^T \Delta P_{Total} \cdot Q_D \right) \cdot dt}{\frac{1}{T} \left(\int_0^T (\Delta P_{Total} Q_{Total}) \cdot dt \right)} \approx \frac{k_D}{k_D + k_I} \quad (14)$$

Entonces queda expresado el rendimiento medio de las turbinas considerando el par generado en ambos sentidos de funcionamiento (T_D y T_I), Ecuación 15.

$$\bar{\eta}_{GT_{D+I}} = \frac{k_D}{k_D + k_I} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N T_{Di} \omega + \sum_{i=1}^N T_{Ii} \omega}{\sum_{i=1}^N \Delta P_i Q_{Di}} = \bar{\eta}_V \cdot \bar{\eta}_{T_{D+I}} \quad (15)$$

A partir de aquí se iniciará un análisis que consiste en expresar el $\bar{\eta}_{(GT=D)}$ como el producto del rendimiento de la turbina, funcionando en sentido directo y aislada del grupo turbinado y el rendimiento volumétrico, $\bar{\eta}_{T_D}$ y $\bar{\eta}_V$ respectivamente. Las características indicadas en esta opción de cálculo, coincidente con bibliografía existente (Takao, 2011), asume nulo el par generado por la turbina funcionando en sentido inverso, T_I , Ecuación 16.

$$\bar{\eta}_{GT_{D}} = \frac{k_D}{k_D + k_I} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N T_{Di} \omega}{\sum_{i=1}^N \Delta P_i Q_{Di}} = \bar{\eta}_V \cdot \bar{\eta}_{T_D} \quad (16)$$

Al desprestigiar el término T_I se expresa el rendimiento medio del grupo turbinado como el producto de dos rendimientos; el rendimiento volumétrico (Ecuación 14) y el correspondiente rendimiento de la turbina funcionando en sentido directo y aislada del grupo turbinado, Ecuación 17.

$$\bar{\eta}_{T_D} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{Di} \omega}{\sum_{i=1}^N \Delta P_i Q_{Di}} \quad (17)$$

Donde se indica con $\bar{\eta}_{T_D}$ el rendimiento medio de la turbina considerando sólo el par generado en sentido directo (T_D), que será

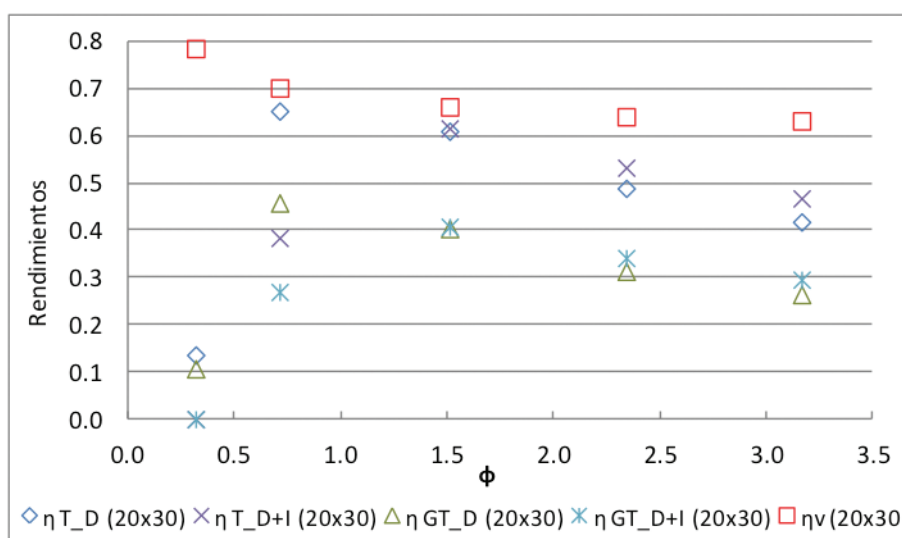


Fig. 21. Rendimientos (turbina, volumétrico y general) para el modelo (Takao, 2011)

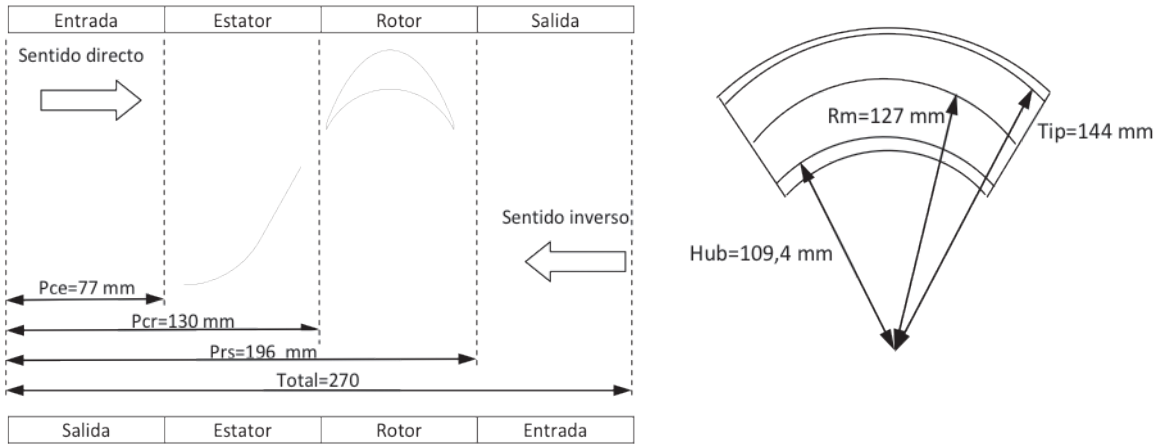


Fig. 22. Ubicación axial y radial de las secciones de análisis

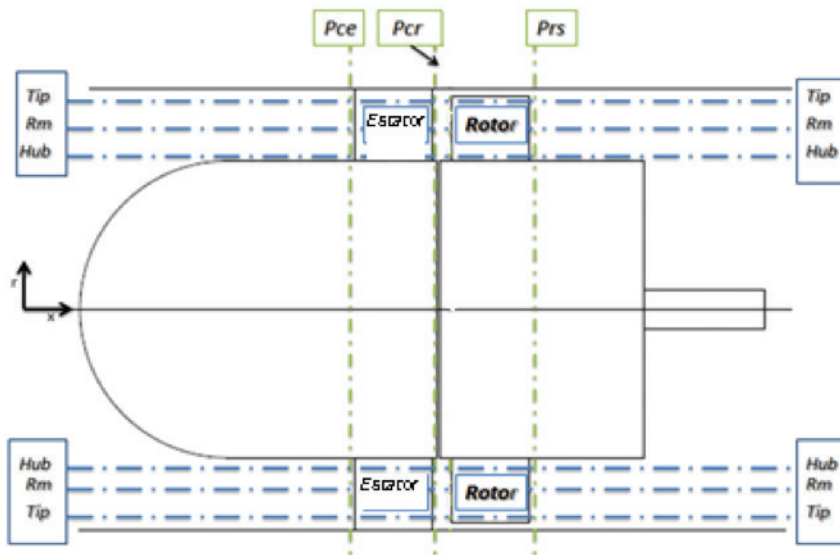


Fig. 23. Secciones de análisis de la turbina

levemente inferior al $\bar{\eta}_{T_{D+H}}$ (Ecuación 15); a excepción de caudales muy bajos que hace que el par, T_I , sea negativo.

Finalmente, se representa a continuación la comparativa de ambas alternativas de cálculo para el grupo turbinado, Figura 21.

Análisis del comportamiento del flujo por simulación CFD

El modelo numérico permite comprender el comportamiento del flujo en el interior de la turbina. Se utilizan los coeficientes caracte-

rísticos y los ángulos de guiado de forma de conocer con precisión como interactúa el diseño en los resultados del conjunto. Debido a la limitante de extensión del presente artículo se presenta sólo un resumen de los resultados logrados.

Las conclusiones del presente análisis permitirán establecer los criterios para rediseñar la geometría del equipo y proponer alternativas cuyas prestaciones superen al de la geometría original (Takao, 2011).

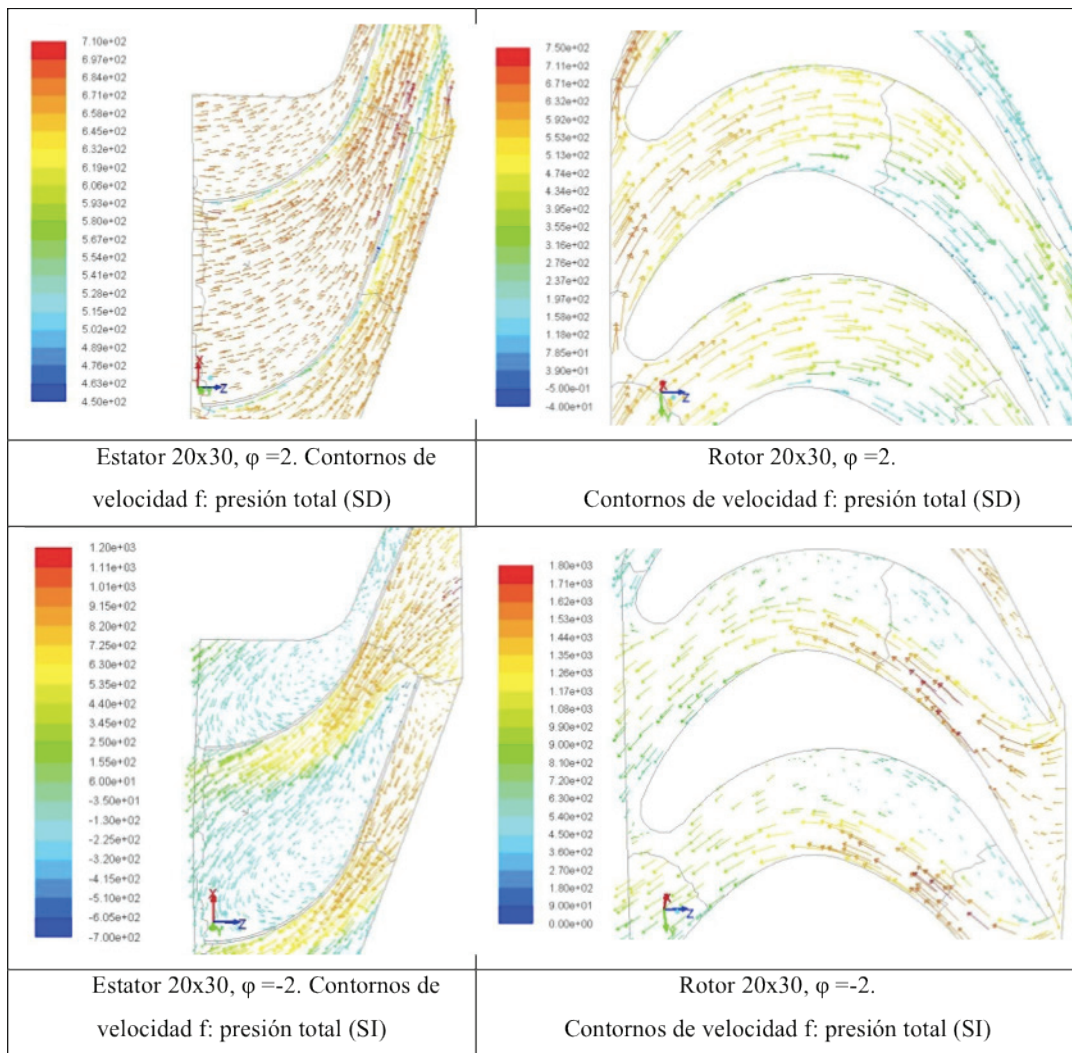


Fig. 24. Contornos de velocidad en la geometría
Fuente: Elaboración propia

Metodología y secciones de análisis: el modelo computacional de la turbina axial estudiada está compuesto por cuatro volúmenes: conducto de entrada, estator, rotor y conducto de salida, Figura 22. Para analizar la evolución del flujo en los dos elementos principales que contienen las aletas directrices (estator) y los álabes (rotor), se han realizado una serie de cortes (planos transversales al eje de rotación y cilindros coaxiales también al eje de rotación) que permiten un análisis más detallado en las secciones fronterizas entre los volúmenes, Figura 23.

Ha sido estudiado el comportamiento de los vectores de velocidad y la energía de presión total, para todos los coeficientes de caudal (φ) en los cuales se han realizado las simulaciones CFD. A continuación se presentan los resultados más relevantes; correspondientes a la máxima velocidad del flujo donde los eventos se hacen

más evidentes. Los resultados corresponden a un coeficiente de flujo $\varphi=2$ en sentido directo (SD) y $\varphi=-2$ en sentido inverso (SI); donde se identifica a la geometría original (Takao, 2011) de 20 aletas directrices y 30 álabes, Figura 24.

Discusión

El diseño y las posteriores simulaciones CFD realizadas correspondientes al sistema generador a partir de energía oceánica ha permitido obtener resultados acordes a las tendencias que muestran las instalaciones experimentales difundidas por la comunidad científica para la tecnología OWC.

Las metodologías utilizadas en el caso de estudio presentadas pueden ser conducidas a estudios de otras temáticas de análisis que permitan el relevamiento de datos sobre las condiciones

particulares de proyectos en las costas argentinas y su posibilidad de aprovechamiento de la energía oceánica.

Las líneas de investigación de otros grupos de I+D podrían incrementar su grado de conocimiento al implementar el uso de modelos numéricos que simulen la realidad y su posterior validación experimental a través de análisis de comportamiento del flujo para predecir resultados de las propuestas a ser evaluadas por inversores.

El interés siguiente radica en realizar a través de las técnicas presentadas en este artículo, correspondientes al modelado, validación y simulación, sucesivos aportes a los grupos de I+D+i presentes en Argentina y en etapa de desarrollo de una amplia gama de tecnologías referidas a proyectos energéticos.

Conclusiones

Para el sistema de obtención de energía oceánica estudiado, en particular la tecnología OWC, la turbina es un elemento principal encargado de transformar el recurso neumático en potencia mecánica y posteriormente en eléctrica a través de un generador.

La Figura 21 permite evidenciar la diferencia existente entre los rendimientos del grupo turbinado de acuerdo a la metodología aplicada, expresada a través de la Ecuación 15 y la Ecuación 16, que difieren sólo en el par involucrado en el cálculo (ambos sentidos o sólo sentido directo).

También se identifica en el rendimiento volumétrico, que del caudal disponible sólo es aprovechable para la generación de energía 2/3 del total y su valor es máximo cuando el coeficiente de caudal φ es mínimo; y decrece a medida que φ crece, desde 79% hasta 63%. Entonces del rendimiento volumétrico resultante se verifica que el grupo turbinado desecha más un 30% del caudal disponible para generar trabajo; esto hace que el rendimiento medio del grupo turbinado se bastante menor al que considera sólo el trabajo individual de la turbina funcionando en sentido directo.

De las dos alternativas para la metodología de cálculo de rendimiento del grupo turbinado desarrollada se concluye que el $\bar{\eta}_{(GT_D+I)} > \bar{\eta}_{(GT_D)}$;

una vez superados los pequeños valores de inicio de operación.

El análisis del comportamiento del flujo ha evidenciado que el ángulo geométrico de entrada del estator es adecuado cuando el fluido circula en sentido directo donde las pérdidas por choques son despreciables y las pérdidas son imputables mayoritariamente al rozamiento. Para el caso del sentido inverso el efecto buscado se logra, pues los resultados muestran que las aletas guías entorpecen el avance del flujo generando pérdidas muy elevadas.

Se observa en el Figura 24 que los vectores de velocidad para el sentido directo (SD) en el estator están alineados con el ángulo geométrico y presentan una distribución no uniforme de presión total a medida que avanzan por el perfil propuesto por las aletas; así se identifican en las estelas los puntos de presión total menor. También se puede observar un leve desprendimiento en la cara convexa de la aleta, que hace que aumente la velocidad del flujo por la zona cóncava. Este desprendimiento parece nacer al final del tramo curvo de la aleta.

En el rotor, el flujo penetra en el canal del rotor sin producir apenas desprendimiento en el borde de ataque. En la primera parte del rotor el flujo es correctamente conducido por el rotor. Sin embargo, cuando se produce la deflexión del flujo, este se desprende del extradós. Esto provoca que en la salida el flujo no salga perfectamente guiado por el álabe.

Analizando el sentido inverso (SI) se observa que los vectores de velocidad chocan al ingresar en el rotor, zonas con flujo desprendido y careciendo de distribución uniforme de la presión total dentro del canal; abandonan el rotor según el ángulo propuesto por el perfil del álabe. Al penetrar en el estator se produce de nuevo un fuerte desprendimiento del flujo, que origina una fuerte pérdida de energía; y el canal se bloquea parcialmente debido al flujo desprendido provocando altas velocidades.

Agradecimientos

El presente artículo ha sido desarrollado en el Área de Mecánica de Fluidos de la Universidad de Valladolid, España y ha sido posible a través del proyecto de EADIC, programa de movilidad de la Unión Europea, Universidad de Bologna-Italia.

Nomenclatura

Letras		Letras griegas	
b	Altura del álabo [m]	η	Rendimiento
C_A	Coefficiente de energía consumida	$\bar{\eta}$	Rendimiento medio
C_T	Coefficiente de par	φ	Coefficiente de caudal
l	Cuerda del álabo [m]	ω	Velocidad angular [rd/s]
K	Constante parabólica	Subíndices	
ΔP	Diferencial de presión [Pa]	1, 2	Inhalación, exhalación
P	Presión [Pa]	GT	Grupo turbinado
Q	Caudal volumétrico [m ³ /s]	D, I	Directo, inverso
T	Tiempo [s]	H, T	Hub (cubo), Tip (punta)
T	Periodo del oleaje [s]	R	Radio medio
T_0	Par [Nm]		
W	Potencia de la ola [w]		
Z	Número de álabes		

Referencias

- INOUE, M.; KANEKO, K.; SETOGUCHI, T. & SARUWATARI, T., (1988) Studies on the wells turbine for wave energy generation (Turbine characteristics and design parameter for irregular wave). JSME International Journal, 31, 676-682.
- JAYASHANKAR, V.; ANAND, S.; GEETHA T., et al., (2009) A twin unidirectional impulse turbine topology for OWC based wave energy plants. Renewable Energy 34: 692–698.
- JAYASHANKAR, V.; MALA, K.; JAYARAJ, J. et al., (2010) A twin unidirectional turbine topology for wave energy. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Ocean Energy. Bilbao, Spain.
- KANEKO, K.; SETOGUCHI, T. & RAGHUNATHAN, S., (1992) Self rectifying turbines for wave energy conversion. International Journal of offshore and Polar engineering, 2.
- MAEDA, H.; TAKAO, M.; SETOGUCHI, T. et al., (2001) Impulse turbine for wave power conversion with air flow rectification system. In: International Offshore Polar Engineering Conference. Stavanger, Norway, June 17-22, 2001.
- MALA, K.; JAYARA, J.; JAYASHANKAR, V. et al., (2011) A twin unidirectional impulse turbine topology for OWC based wave energy plants – Experimental validation and scaling. Renewable Energy 36: 307–314.
- MCCORMICK, M. & COCHRAN, B., (1993) A performance study of a bi-directional radial turbine. Proceedings of the European Wave Energy Symposium, (págs. 443-448). Edimburgh.
- RAGHUNATHAN, S., (1995) The Wells Turbine for Wave Energy Conversion. Prog. Aerospace Sci, Vol. 31, pp. 335-386.
- RAGHUNATHAN, S., (1995) A methodology for the Wells turbine design for wave energy conversion. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy 209: 221–232.
- SETOGUCHI, T. et al. 1, (1996) Impulse turbine with self-pitch-controlled guide vanes for wave power conversion: guide vanes connected by links. International Journal of Offshore and Polar Engineering, Vol. 6, pp. 76-80. ISSN 1053-5381.
- SETOGUCHI, T. & TAKAO, M., (2006) Current status of self rectifying air turbines for wave energy conversion. Energy Conversion and Management, 2382-2396.
- TAKAO, M.; SETOGUCHI, T.; KANEKO, K.; KIM, T.; MAEDA, H. & IONUE, M., (2002) Impulse turbine for wave energy conversion with air flow rectification system. International Journal of Offshore and Polar engineering, 12 (2), 142-146.
- TAKAO, M.; TAKAMI, A.; OKUHARA, S.; et al., (2011) A twin unidirectional impulse turbine for wave energy conversion. Proceedings of the 10th International Symposium on Experimental computational Aerothermodynamics of Internal Flows. 4-7 July 2011, Brussels, Belgium. ISAI10-101.
- TAKAO, M. & SETOGUCHI, T., (2012) Air turbines for wave energy conversion. Hindawi Publishing Corporation. International Journal of Rotating Machinery. Volume 2012, Article ID 717398.
- TEASE, W.; LEES, J. & HALL, A., (2007) Advances in Oscillating Water Column Air Turbine development. Proceedings of the 7th European Wave and Tidal Energy Conference. Oporto (Portugal).
- THAKKER, A. and HOURIGAN, F., (2005) A comparison of two meshing schemes for CFD analysis of the impulse turbine for wave energy applications. Renewable Energy 30: 1401–1410.

Atlas argentino de emisiones de carbono debido al sector transporte

Salvador Enrique Puliafito^{1,2}, David Allende¹, Sebastián Pinto², Ariel Werner², Paula Castesana²

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza / CONICET Rodríguez 273, (5500) Mendoza, Argentina

² Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Medrano 951, (C1179AAQ) Buenos Aires, Argentina

epuliafito@frm.utn.edu.ar

Recibido el 29 de agosto de 2014, aprobado el 24 de octubre de 2014

Resumen

Se plantea un procedimiento sencillo para preparar un inventario de emisiones grillado de alta resolución (9×9 km) para el sector transporte basado en un sistema de información geográfico usando información de fácil acceso. La variable básica usada es la actividad vehicular (vehículo-km transportado) que se estima a partir del consumo de combustible y una eficiencia de combustible. Esta información luego se distribuye estáticamente a la grilla según una jerarquía vial y la longitud del segmento asignada a cada calle. El consumo de combustible se obtiene del consumo por distrito, y luego se distribuye a nivel urbano usando la banda roja de la imagen satelital *DMSP-OLS Earth at night*. Esto es necesario ya que no existe información local o urbana de la distribución del consumo de combustible a esa escala. La comparación con bases internacionales mostró una mejor distribución espacial de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del sector transporte, pero similares valores nacionales totales.

PALABRAS CLAVE: INVENTARIO DE EMISIONES - SECTOR TRANSPORTE - SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO - DISTRIBUCIÓN ESPACIAL - VEHÍCULO KILÓMETRO TRANSPORTADO

Abstract

A simple procedure is proposed in order to develop an inventory of emissions with high resolution (9 km) for the transport sector based on a geographic information system using readily available information. The basic variable used is the vehicle activity (vehicle - km transported) estimated from fuel consumption and fuel efficiency. This information is distributed to a spatial grid according to a road hierarchy and segment length assigned to each street within the cell. Information on fuel is obtained from district consumption, but weighted using the *DMSP-OLS Earth at night* satellite image, to allow an urban scale distribution. Comparison with international databases showed a better spatial distribution of greenhouse gases (GHG) emissions in the transport sector, but similar total national values.

KEYWORDS: HIGH RESOLUTION EMISSIONS INVENTORY – ROAD TRANSPORT SECTOR - GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM - SPATIAL DISTRIBUTION - VEHICLE KILOMETER TRANSPORTED

Introducción

Los Modelos de Calidad del Aire (MCA) son herramientas matemáticas utilizadas para predecir concentraciones de contaminantes en el aire por medio de la simulación de los procesos físicos y químicos implicados en la dispersión, transporte y reacción de dichas sustancias. La correcta representación de estos fenómenos y sus interacciones constituyen todavía un campo de trabajo muy amplio (Allende, 2011). La preparación de un detallado inventario de emisiones que se adecúe a los usos en modelos regionales meteorológicos es fundamental, ya que permite una estimación adecuada del destino de contaminantes primarios y la formación de secundarios (por ejemplo, WRF/Chem: Grell et al., [2005]) y de calidad del aire (por ejemplo, CALPUFF: Scire et al., [2000]; AERMOD: Cimarelli et al., [2003] o CMAQ: Binkowski y Roselle, [2003]).

Existe mucha literatura que trata el tema de las emisiones del sector del transporte carretero. Por ejemplo, el artículo de Uherek et al., (2010), revisa las causas e impactos sobre la calidad del aire y el clima que genera el transporte carretero, desde el problema de la movilidad, los factores de emisión, las emisiones de gases y los modelos actualmente en uso. Se han confeccionado diversos inventarios de transporte carretero con el objeto de conocer las emisiones de gases de efecto invernadero y estimar el potencial de reducción de este sector, los cuales han sido recopilados por el IPCC (2007). Existen diversas formas para organizar un inventario de emisiones basado en el consumo de combustible: Singer y Harley, (1996) para Los Angeles EE.UU.; Yan y Crookes, (2009) y Hao et al., (2011) para China, entre otros. Rentziou et al., (2012) y Bastani et al. (2012) presentan una amplia revisión bibliográfica de los modelos de actividad vehicular y consumo de combustibles y estudian las principales variables que afectan la cantidad de kilómetros recorridos anualmente y discuten las incertidumbres asociadas con los cálculos de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del transporte.

El uso de los SIG en modelos de calidad del aire y el cálculo de las emisiones vehiculares pueden estudiarse en los iniciales trabajos metodológicos de Bruckman, (1992) u otros aplicados a ciudades y regiones: Gualtieri y Tartar-

gla, (1998) en Florencia, Italia; Borrego et al., (2003) en Lisboa, Portugal; Lin and Lin, (2002) en Taichung, Taiwan; Puliafito et al., (2003) en Mendoza, Argentina; Puliafito et al., (2011) en Bahía Blanca y Buenos Aires, Argentina y Gattikunda y Calori, (2013) en Delhi, India.

La actividad vehicular se estima utilizando información nacional agregada, como el número y distribución de los habitantes, el número promedio de viajes y distancias medias de conducción, la composición del parque automotor y la eficiencia de consumo de combustible. Los factores de emisión se estiman usando modelos operativos que incluyen diversos tipos de vehículos, combustibles y velocidades (COPERT: Ntziachristos y Samaras, 2000; SMOKE: Coats, 1995, Wang et al., 2011; MOBILE6: EPA 2008, Zhang y Batterman, 2010; *International Vehicle Emissions Model (IVE)*: Davis et al., (2005).

En los últimos años, se han confeccionado muchos inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos en varias escalas. Baldasano et al., (2008) presentan un inventario de emisiones para España y Europa (HERMES) en muy alta resolución espacial (1 km) y temporal (1 hora) que permite estimar las emisiones por sector o actividad. Ferreira et al., (2013) presentan una comparación de varias bases de datos sobre territorio europeo: *European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP)*. *Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO)*, desarrolló la base de datos de emisiones para la Investigación Atmosférica Global (EDGAR: *Emissions Database for Global Atmospheric Research*) (EDGAR, 2011). La versión más reciente EDGARv4.2 proporciona datos globales anuales de emisiones para todos los contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero, desagregados por países con una grilla de 0,1 grados de resolución. La estimación de estas emisiones está condicionada a las incertidumbres en los datos de actividad procedentes de las estadísticas nacionales, los ajustes para las series de tiempo incompleto, y el empleo de los factores generales de emisiones. Asimismo, si los datos geográficos disponibles son de resoluciones muy gruesas (por grandes distritos) el mapa global es de baja fiabilidad.

Cuando se desea aplicar estas bases de datos internacionales en un modelo regional de calidad del aire, es decir en escalas del orden

de los cientos a miles de km, las bases de datos internacionales disponibles no siempre tienen la resolución adecuada o no están suficientemente actualizadas. Por otra parte, no todos los países poseen el mismo nivel de desagregación de información tanto en cantidad, calidad o resolución espacial, que permita armar un inventario consistente y adaptable a los modelos regionales. Es por ello que el objeto de este artículo es mostrar un enfoque metodológico práctico del tipo *top-down* aplicado a la elaboración de un inventario regional de emisiones distribuido geográficamente de alta resolución proveniente del parque vehicular carretero para la República Argentina, que mejore el inventario de emisiones existente y poder aplicarlo posteriormente a un modelo regional de calidad del aire. Si bien este estudio se aplica a la Argentina, su descripción metodo-

lógica es transferible a cualquier región o país. Consecuentemente con este objetivo se ha buscado usar sólo información básica y accesible para muchos países.

Parte experimental

Breve descripción del área de estudio

La Argentina, ubicada en el extremo sur de Sudamérica, tiene 40 millones de habitantes y comprende una superficie aproximada de 2.800.000 km² de territorio continental e insular. En el año 2012 el producto bruto era de 470 millones de USD (a precios actuales) con un PBI/cápita de 11.500 USD anuales. El territorio nacional se divide en 23 provincias y una ciudad autónoma. Las provincias a su vez se organizan en

PROVINCIA	POBLACIÓN habitantes	GAS OIL m ³	NAFTA m ³	GNC Miles m ³
Buenos Aires	15.625.084	3.161.319	2.529.259	910.390.729
Córdoba	3.308.876	1.051.671	619.064	267.450.534
Santa Fe	3.194.537	991.989	553.213	183.305.650
Capital Federal	2.890.151	451.421	627.370	229.353.440
Mendoza	1.738.929	501.378	282.473	177.285.823
Tucumán	1.448.188	221.385	195.556	86.035.755
Entre Ríos	1.235.994	397.105	207.923	56.114.328
Salta	1.214.441	241.485	166.516	50.857.099
Misiones	1.101.593	240.997	173.913	-
Chaco	1.055.259	196.970	128.666	-
Corrientes	992.595	181.279	152.830	-
Santiago del Estero	874.006	134.924	80.123	29.474.363
San Juan	681.055	109.234	77.801	32.334.058
Jujuy	673.307	103.868	57.215	23.350.000
Río Negro	638.645	238.025	160.971	25.957.470
Neuquén	551.266	152.127	126.542	17.686.171
Formosa	530.162	55.598	56.012	-
Cubut	509.108	203.324	189.207	1.884.180
San Luis	432.310	138.608	112.472	36.930.262
Catamarca	367.828	43.847	44.476	11.084.492
La Rioja	333.642	44.847	50.593	6.533.742
La Pampa	318.951	161.225	84.198	9.001.649
Santa Cruz	273.964	136.370	118.411	-
Tierra del Fuego	127.205	33.654	54.315	-
TOTAL	40.117.096	9.192.649	6.849.119	2.155.029.745

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Secretaría de Energía de la Nación, INDEC

Tabla 1. Estadística de consumo anual de combustibles por Provincia 2012

Tipo	Auto Liviano			Carga liviana	Bus	Carga pesada	Total
	Motonaftas	GNC	gasoil	gasoil	gasoil	gasoil	
Buenos Aires	1.850,7	900,0	693,9	724,2	190,3	28,4	4.387,6
Capital Federal	740,4	244,1	235,4	229,2	68,2	14,2	1.531,6
Córdoba	507,5	178,3	160,0	219,9	58,8	4,7	1.129,2
Santa Fe	437,9	162,9	141,6	184,9	60,9	4,3	992,5
Mendoza	255,5	86,1	78,1	117,9	32,1	3,4	573,2
Entre Ríos	159,5	56,4	49,5	77,2	22,0	2,0	366,5
Tucumán	102,7	33,8	30,5	44,7	15,0	1,2	227,8
Chubut	108,4	7,9	29,8	51,8	13,3	1,9	213,2
Neuquén	82,5	27,0	24,7	48,9	11,5	2,0	196,7
Rio Negro	90,1	21,0	28,8	42,8	9,5	1,7	193,9
Misiones	99,6	-	23,0	40,3	15,3	1,6	179,8
Salta	70,9	26,8	25,6	42,8	12,1	1,3	179,5
Corrientes	99,1	-	24,6	39,5	13,9	1,2	178,4
San Juan	82,2	11,9	21,3	31,7	8,8	0,9	156,8
Chaco	78,7	-	20,6	39,6	12,4	0,7	152,0
Santa Cruz	73,0	-	16,8	26,4	6,8	1,5	124,6
La Pampa	60,9	4,8	17,3	31,4	7,0	0,6	121,9
San Luis	50,0	18,1	16,6	23,4	5,3	0,5	114,0
Jujuy	52,3	4,8	13,4	27,3	10,3	1,8	109,9
Santiago del Estero	44,8	7,8	13,4	25,0	6,9	0,7	98,6
Catamarca	31,1	5,6	9,7	13,9	3,1	0,5	63,8
Tierra del Fuego	37,8	-	8,6	12,2	3,1	1,2	63,0
La Rioja	35,8	-	9,5	12,4	3,2	0,5	61,2
Formosa	28,6	4,9	7,9	15,5	3,7	0,5	61,0
Total	5.180	1.802	1.000	2.123	593	77	11.477

Fuente: Elaboración propia a partir de datos ADEFA y de la Secretaría de Energía de la Nación

Tabla 2. Distribución de vehículos (en miles) por Provincia, año 2012

municipios o partidos totalizando 537 distritos (incluyendo los 22 distritos de la Ciudad de Buenos Aires). El 48% de estos municipios tienen menos de 25.000 habitantes sumando el 7% de la población total; 37% tienen entre 25.000 y 150.000 habitantes (29% población total), y el 15% restante tiene poblaciones mayores a 150.000 habitantes sumando el 64% de la población total. El parque automotor alcanza los 11,5 millones de vehículos, con un consumo anual de combustibles del sector transporte de 8,8 millones de m³ de gas-oil, 6,5 millones de m³ de gasolina y 2.000 millones de m³ de gas natural comprimido (ver la Figura 1 en la página 38). La red caminera supera los 500 mil km, de las cuales 38 mil km corresponden a accesos primarios (90% pavimentadas), 202 mil km de rutas primarias (20 % pavimentadas) y 270 mil km a caminos secundarios y terciarios mayoritariamente no pavimentados (INDEC, ADEFA, Vialidad Nacional, Secretaría de Energía).

La Tabla 1 muestra el consumo anual para Ar-

gentina al año 2012 y la Tabla 2 los vehículos registrados por provincia.

Como información primaria se usaron las siguientes bases de datos:

a) Fuentes de puntos: Mapas de localidades y censo de Tránsito Diario Medio Anual TDMA (DNVA), el cual existe para las principales rutas. Venta de combustible por localidades (Secretaría de Energía);

b) Fuentes de área o polígonos: Mapa de Argentina por departamento (*Sh Arg pob*) con información de población, densidad poblacional y otros indicadores económico - sociales (INDEC, IGN);

c) Fuentes de líneas: Mapas de calles y rutas (*Openstreetmap e IGNA*) (*Sh Arg roads*), clasificados en accesos, rutas troncales, rutas nacionales, rutas provinciales, primarias, secundarias y terciarias.

d) Imágenes satelitales: *Imagen satelital DMSP-OLS Earth at night tipo TIFF* con tres bandas: roja, verde y azul (NOAA-NGDC, 2010).

Cálculo de los flujos vehiculares

La base de la preparación del inventario se realizó sobre un sistema de información geográfico (SIG). Un SIG utiliza tres formas básicas para manejar la información vectorial espacial referenciada: puntos, líneas y polígonos. Las imágenes (*o raster*) pueden convertirse a alguno de estos tipos anteriores.

El mapa base donde se preparó en base a una grilla con celdas de 9x9 km de resolución que cubre toda la República Argentina, con un ancho de 1200 km E-O y 3000 km de largo N-S. A este mapa lo denominamos *Sh Arg grid 9x9* y se usó para guardar toda la información primaria y elaborada en este proyecto.

La mejor información disponible públicamente de población y otras variables sociodemográficas está agregada a nivel de distritos, lo cual es una resolución espacial menor al del tamaño de la celda de la grilla. Si bien se dispone de un mapa de localidades, éste se representa como un punto y no queda definido el contorno urbano, salvo por algunas calles, y no siempre en todo el territorio. Por lo tanto a fin de identificar los centros urbanos, como principales emisores, se asociaron estos centros urbanos usando la banda R (roja) proveniente de *Sh Earth night*.

Para obtener este nuevo mapa de zonas urbanas se convirtió la imagen (TIFF) *Earth at night* a formato polígono (*shape*) (*Sh Earth night*) y luego se intersectó con la grilla base (*Sh Arg grid 9x9*). De la misma forma se intersectó la información poblacional (*Sh Arg pob*) con el de grilla (*Sh Arg grid 9x9*), incorporando a esta grilla base los datos poblacionales y socio-económicos de cada distrito. La población del departamento se distribuyó en la grilla de celdas *Sh Arg grid 9x9* según la intensidad de la banda R, $B_R(x,y)$:

$$Pob_{GRILLA}(x, y) = Pob_{DT}(m) \times \frac{B_R(x,y,m)}{\sum_{x,y} B_R(x,y,m)} \quad (1)$$

Donde $Pob_{GRILLA}(x,y)$ es la población asignada a

la celda de coordenadas (x,y) y $Pob_{DT}(m)$ es la población de cada distrito m ,

Para estimar el consumo total de combustibles debido al transporte carretero se usó la base de datos de venta de combustible por jurisdicción (Secretaría de Energía). Estos datos ($Fuel_{DT}$) se obtienen a nivel de distritos (m), En forma análoga a la distribución de la población por grilla, se realizó una asignación de combustible vendido por celda:

$$Fuel_{GRILLA}(x, y, i) = Fuel_{DT}(m, i) \times \frac{B_R(x,y,m)}{\sum_{x,y} B_R(x,y,m)} \quad (2)$$

El subíndice i de la Ec. (2) indica el tipo de combustible (motonaftas, gas-oil o GNC). Se asumió en este estudio que no todo el combustible vendido o asignado a la celda (x,y) $Fuel_{GRILLA}$ se consume completamente en la misma celda, sino que consumen su combustible en las celdas aledañas a medida que los vehículos circulan, y es proporcional a la densidad poblacional de cada centro urbano. El consumo por celda $Fuel_{GRILLA}$ se distribuye siguiendo una función del tipo gaussiana, (i.e, Mertens et al., 1977 y similares). La nueva distribución se obtiene a partir de la convolución entre la información por grilla y una función filtro bi-gaussiana $bg(x,y)$. Para este caso se usó una función filtro de 15x15 celdas con una desviación d (variable para cada tipo de combustible) con valor medio x_m e y_m :

$$bg(x, y) = \exp \left[- \left(\frac{x-x_m}{a} \right)^2 \right] \times \exp \left[- \left(\frac{y-y_m}{a} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Nótese que la función $bg(xm,ym)= 1$

$$Fuel_{CONV}(x, y, i) = \frac{1}{\sum_{u,v} bg(u,v)} \iint_{u=u_0, v=v_f}^{u=u_f, v=v_f} [Fuel_{GRID}(u, v, i) \times bg(x-u, y-v)] dudv \quad (4)$$

$Fuel_{CONV}$ es la proporción del combustible consumido (o distribuido) en cada celda de coordenadas (x,y) ; siendo $u_{f,0}=x \pm x_m/2$; $v_{f,0}=y \pm y_m/2$. Este paso es necesario, porque de otra forma las rutas o celdas rurales aparecerían con un consumo nulo o muy subestimado y las celdas urbanas sobreestimado. El ancho de la

función filtro puede regularse para cada tipo de combustible $d(i)$, así para gas-oil (mayormente en vehículos de carga) la distribución será más dispersa. A fin de calibrar el modelo con datos de los flujos diarios por carretera (TDMA), es necesario estimar la actividad VKT (vehículos km transportados) por tipo de combustible. Ésta se calcula a través del combustible vendido por jurisdicción y una eficiencia estimada de combustible (Anuario Adefa, 2012) (Tabla 2 y Tabla 3):

$$VKT_{DT}(m, i) = Fuel_{DT}(m, i) \times \gamma(i) \quad (5)$$

γ es la eficiencia promedio (km/l para combustibles líquidos o km/m³ para GNC) para ese combustible, la jurisdicción DT puede ser nacional, provincial, departamental; i es el combustible (gasolinas, gas-oil o GNC).

De manera análoga se puede determinar la actividad de cada celda VKT_{GRILLA} a partir del combustible asignado a cada celda $Fuel_{CONV}$ usando la Ec. (5):

$$VKT_{GRILLA}(x, y, i) = Fuel_{CONV}(x, y, i) \times \gamma(i) \quad (6)$$

VKT_{GRILLA} es un valor de actividad total (para todo tipo de vehículos) por celda, Sin embargo el consumo propiamente dicho se realiza sobre las rutas. A fin de trasladar la información de la grilla a la ruta, representada en el SIG por los segmentos de líneas, se intersectó el mapa de rutas (*Sh Arg roads*) con el de grillas (*Sh Arg grid*). La actividad en cada segmento VKT_{SEGM} es:

$$VKT_{SEGM}(s, i) = VEH_{SEGM}(s, i) \times L(s) \quad (7)$$

Donde $VEH_{SEGM}(s, i)$ son los vehículos con combustible i circulando por el segmento s , y $L(s)$ es la longitud de ese segmento. Nótese que normalmente no se dispone de la información de los vehículos diarios en cada segmento, por lo tanto debe estimarse a partir del consumo de la celda y de la jerarquía de las rutas. Por otra parte a pesar que los vehículos diarios en cada segmento son una variable aleatoria sus valores medios diarios anuales se mantienen aproximadamente estables. A fin de estimar VKT_{SEGM} a partir de VKT_{GRILLA} se clasificó cada segmento en jerarquías definiéndose en rutas tipo: accesos, troncales, primarias y caminos secundarios. A una celda le corresponde un único valor de actividad VKT_{GRID} y en cada celda co-existen s segmentos de distintas longitudes y jerarquías. La actividad del segmento será proporcional al VKT_{GRID} y al promedio ponderado entre el producto de la jerarquía vial $J(j)$ y la longitud del segmento $L(s)$ para cada grilla:

$$VKT_{GRILLA}(x, y, i) = \sum_S VKT_{SEGM}(s, i) = VEH_{REF} \sum_S J(S) \times L(S) \quad (8)$$

Donde VEH_{REF} es un valor de referencia, por ejemplo la cantidad de vehículos que circula en una ruta acceso es 1000 veces mayor que la de una ruta secundaria. El valor de $J(s)$ tiene en cuenta el flujo vehicular, ancho, tipo, uso e importancia de la vía. A partir de los puntos donde existen conteos de flujos se puede estimar el valor de las jerarquías. En el caso de estudio se tomaron los siguientes valores: accesos primarios= 1000; rutas troncales= 500; rutas nacionales= 100; rutas provinciales y secundarias= 1, La razones entre estos coeficientes indican las tasas entre los flujos en ese punto. Entonces la actividad del segmento se estima de la siguiente forma:

Variable / Combustible	Unidad	NAFTA	GASOIL	GNC	TOTAL
Proporción vehículos Veh año 2012	%	46%	39%	16%	100%
Actividad / veh anual	km anuales	14,387	18,616	16,801	
Actividad / veh diaria	km diarios	39	51	46	
Eficiencia	km/l o km/m ³ *	11	9	14*	
Consumo	Miles m ³ / mill, m ³ *	6,849	9,193	2,155*	
VKT anual	Millones	75,340	82,734	30,170	188,245
VKT diario	Millones	208	190	91	489
Proporción VKT	%	42%	39%	19%	100

Ref: VKT: Vehículos-km transportados; (*) unidades para GNC, Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Tasas de actividad media anual nacional

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

$$VKT_{SEGM}(s, i) = \frac{VKT_{GRID}(x, y, i) \times J_{GRID}(s) \times L_{GRID}(s)}{\sum_s [J_{GRID}(s) \times L_{GRID}(s)]} \quad (9)$$

Donde $VKT_{SEGM}(s, i)$ es la actividad diaria del segmento s y combustible i , ubicados en la celda (x, y) . La suma de todos los VKT diarios de todos los segmentos o celdas debe ser equivalente a la actividad nacional total por día. Una vez estimado el valor de VKT_{SEGM} se estiman los vehículos diarios VEH_{SEGM} en cada segmento dividiendo por la longitud del segmento $L(s)$. Este valor nos permite comparar los resultados con las estadísticas de TDMA existentes.

Cálculo de las emisiones

El proceso realizado nos permite calcular y asociar las emisiones desde la celda o los segmentos para las diversas jurisdicciones. Las emisiones E_{DT} para el contaminante k , pueden calcularse en función del consumo de combustible i para distintos niveles de jurisdicción m (Provincia o Distrito) y un factor de emisión promedio del combustible quemado $F_{EF}(k, i)$ (Tabla 4), como así también por celda E_{GRILLA} :

$$E_{DT}(m, k) = \sum_i [Fuel_{DT}(m, i) \times F_{EF}(k, i)] \quad (10)$$

$$E_{GRILLA}(x, y, k) = \sum_i [Fuel_{GRILLA}(x, y, i) \times F_{EF}(k, i)] \quad (11)$$

Una vez determinada la cantidad de vehículos por segmento, por tipo y por combustible se calculan las emisiones por segmento E_{SEGM} por unidad de tiempo usando factores de emisión de actividad $A_{EF}(i, z, k)$ (g/km) recorridos por cada tipo de vehículo:

$$E_{SEGM}(s, k) = \sum_{j,i,z} [V_{SEGM}(s, i, z) \times L(s) \times A_{EF}(i, z, k)] \quad (12)$$

Cada segmento posee la identificación de la celda a la que pertenece, por lo tanto las emisiones por segmento se pueden volver a asociar al de la grilla. La emisión por celda y por contaminante k , será la suma de las emisiones de todos los segmentos s:

$$E_{GRILLA}(k, x, y) = \sum_s E_{SEGM}(s, k) \quad (13)$$

Mientras que las emisiones de Ec. (10) se calculan sobre la base de la venta de combustibles en la celda, la Ec. (12) se realiza en base a la discriminación por tipo de vehículo que recorre los segmentos de cada celda. Finalmente las emisiones totales (nacionales) por contaminante podrán totalizarse por distritos, por segmentos o por celdas:

$$E(k) = \sum_x \sum_y E_{GRILLA}(k, x, y) \quad (14)$$

Factores de Conversión de energía a emisiones	Naftas	Gasoil	GNC	Fuel Oil
de	m ³	m ³	1000 m ³	m ³
a TJ	0,0318	0,0361	0,0348	0,0388
de TJ a Tn de CO	13,0000	0,5100	0,7230	0,6100
de TJ a Tn de HC	1,4000	0,0800	0,0900	0,1300
de TJ a Tn de NO _x	0,6000	0,7160	0,3800	1,8000
de TJ a miles Tn de CO ₂	0,0686	0,0744	0,0555	0,0779
de TJ a Tn de CH ₄	0,2000	0,0020	0,6300	0,0060
de TJ a Tn de N ₂ O	0,0010	0,0040	-	0,0020

Ref.: IPCC (2007)

Tabla 4. Factores de emisión FEF

Resultados

La Figura 1 muestra la evolución del consumo de combustibles en Argentina en el período 1960-2012, y se distribuye de acuerdo al tipo de combustible. La Figura 2 muestra además una partición de las emisiones de carbonos calculadas

de acuerdo al tipo de transporte usado y el tipo de combustible. En ambas figuras se aprecia la importancia del uso de gas-oil especialmente en el servicio de carga. Sin embargo el transporte liviano (autos particulares) suma el 63% de las emisiones, 6% corresponde al transporte público y el 31% corresponde a movimiento de cargas.

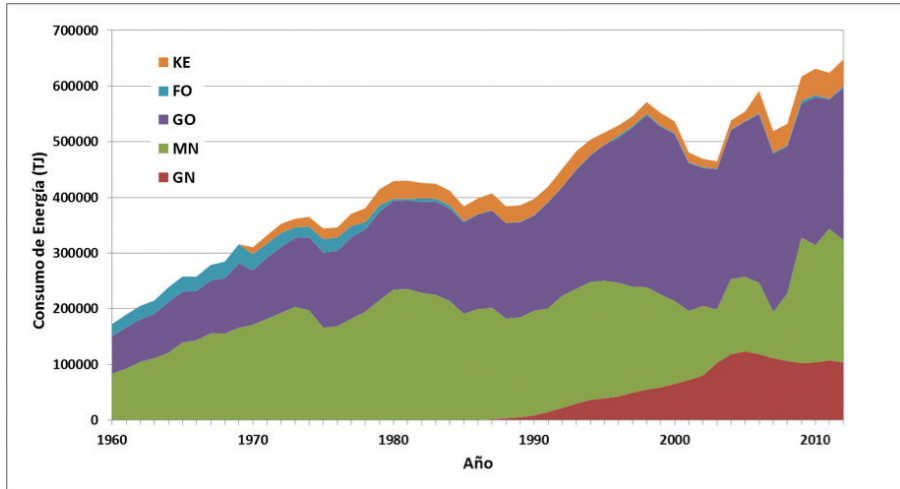


Fig. 1. Evolución del consumo de energía (TJ) por el sector transporte en Argentina, según el tipo de combustible usado. Ref: KE: Kerosene y aeronaftas, FO: Fuel-Oil, GO: Gas-Oil, MN: Motonaftas y GN Gas Natural Comprimido. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Secretaría de Energía de la Nación

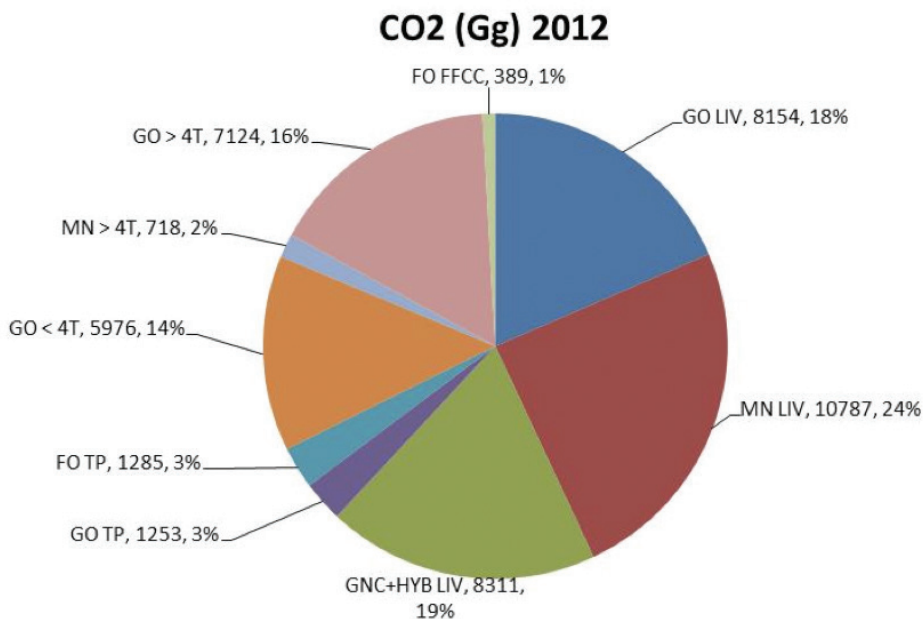


Fig. 2. Distribución de las emisiones de CO₂ (Gg) para el año 2012, debido al sector transporte en Argentina, según el tipo de combustible usado y medio de transporte, Ref: KE: Kerosene y aeronaftas, FO: Fuel-Oil, GO: Gas-oil, MN: Motonaftas y GNC Gas Natural Comprimido; FFCC Cargas por ferrocarril; > 4T Cargas en camiones mayores a 4 toneladas; ; < 4T Cargas en camiones menores a 4 toneladas; TP: transporte público; LIV vehículos livianos (autos particulares); HYB: Vehículos híbridos

La Figura 3 muestra un mapa de Argentina con su distribución de población por departamentos o distritos. En esta figura se representan los cuatro tipo de información geográfica asociada a un sistema de información geográfica: áreas:

países y distritos (Figura 3a), líneas y puntos: rutas y localidades (Figuras 3b y 3c), imágenes: luces de *Earth at night* (Figura 3c). La Figura 3d representa la grilla básica utilizada *Sh Arg grid 9x9*.

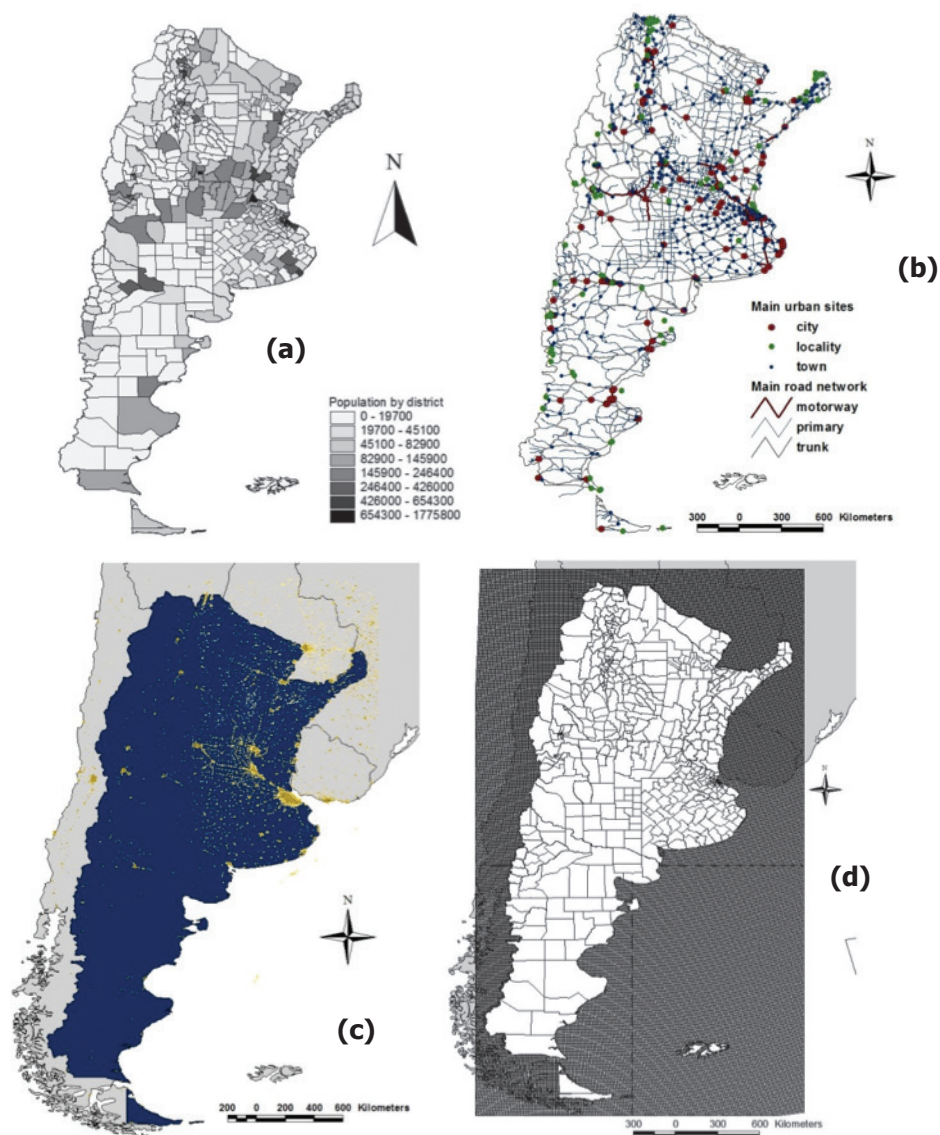


Fig. 3. Información inicial básica referenciada geográficamente usando distintos tipos de representación en GIS (superficie, línea, tipo e imagen), Arriba izquierda (a): *Sh Arg pob*: Población Argentina por distritos (Información de superficie). Arriba Derecha (b): *Sh Arg roads*: Ubicación de ciudades y pueblos (información de punto); rutas y accesos principales (información de línea). Abajo izquierda (c): Fotos de luces nocturnas (*Earth at night*) (información de imagen). Abajo derecha (d): *Sh Arg grid 9x9*: Grilla base de 9 x 9 km sobre el territorio argentino

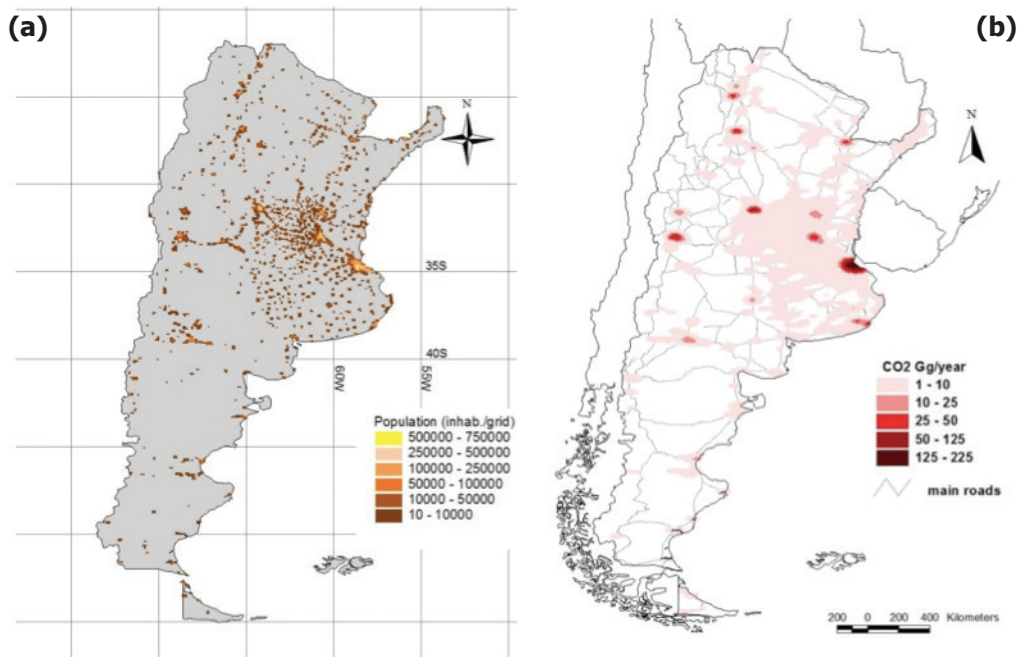


Fig. 4. Derecha (a): Población territorial usando *Earth at night*. Izquierda (b) Emisiones de dióxido de carbono luego de la convolución $Fuel_{CONV}(x,y)$

La Tabla 1 muestra el consumo anual para Argentina al año 2012 discriminada por distrito $Fuel_{DT}$, por tipo de combustible, la energía total consumida y las emisiones de CO_2 respectivas. Las emisiones de contaminantes emitidos en la combustión como CO , CH_4 y NOx (entre otros) pueden estimarse usando el factor de emisión apropiado $F_{FE}(k,i)$ (Tabla 4) a partir del mismo consumo según la Ec. (11) o Ec. (12). La Tabla 5 muestra la distribución de consumo anual de combustibles según el tamaño de la población.

Las Tablas 1 a 4 junto con las cuatro figuras 3, constituyen la información básica disponible en las bases de datos habituales.

La Figura 4a muestra el efecto de intersectar la grilla $Sh Arg grid 9x9$ con el mapa de luces, obteniéndose una distribución de poblaciones por celda $Pob_{GRID}(x,y)$ de acuerdo a la Ec. (1) (Figura 4 b). La Figura 4b muestra la distribución de consumos de energía $Fuel_{CONV}$ aplicando la función de convolución de la Ec. (4).

Se observa en la Tabla 5 que el consumo de gasolina (naftas) y el de GNC prácticamente es proporcional a la población del distrito, variando

su consumo per cápita levemente, no así el de Gas-oil, que involucra el transporte de bienes. El consumo per cápita de GNC es mayor en los distritos más poblados, debido a la mayor presencia de estaciones de gas.

La Figura 5 muestra los vehículos en los segmentos, jerarquizados por tipo de rutas, Los espesores y colores indican la mayor o menor cantidad de flujo vehicular, obtenidos. La Figura 6 muestra las emisiones anuales de CO_2 obtenidos en un formato de grilla. La Tabla 6 muestra la distribución de las emisiones del transporte de acuerdo a la jerarquía de la ruta. Se aprecia que el 46% del total de las emisiones se desarrollan en las autopistas y rutas troncales, y el 30% se desarrolla en el ámbito urbano.

Rango Población / Consumo	Total Miles Hab.	GAS-OIL Miles m ³	NAFTA Miles m ³	GNC Miles m ³
Pob. < 25.000	2.850	892	487	48.108
25.000 < pob. < 150.000	11.538	3.843	1.993	487.719
Pob. > 150.000	25.729	4.457	4.369	1.619.202
TODOS	40.117	9.192	6.849	2.155.029
Rango población	proporción	%	%	%
Pob. < 25.000	7%	10%	7%	2%
25.000 < pob. < 150.000	29%	42%	29%	23%
Pob. > 150.000	64%	48%	64%	75%
TODOS	100%	100%	100%	100%
población	Consumo anual	l/Hab	l/Hab	m ³ /Hab
Pob. < 25.000		313,0	170,9	16.880
25.000 < pob. < 150.000		333,1	172,7	42.271
Pob. > 150,000		173,2	169,8	62.933
TODOS		229,1	170,7	53.719

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Secretaría de Energía de la Nación, INDEC

Tabla 5. Estadística de consumo anual de combustible por tamaño de distritos

Combustible	N° Seg	Long	GNC	MN	GO	Total
Autopistas	7.538	7.922	1.552	3.233	5.463	10.271
Rutas Troncales	12.514	38.317	1.026	3.072	5.755	9.854
Rutas Primarias	25.800	78.011	1.530	4.412	8.217	14.167
Rutas Secundarias	29.617	39.077	1.050	2.958	5.227	9.247
Otras Jerarquías	2.933	5.275	42,1	128,3	243,2	413,6
Total	78.402	168.602	5.202	13.805	24.907	43.954

Ref.: GNC: Gas Natural Comprimido; MN: Motonaftas (Gasolina); GO: Gas-Oil;
N° Seg: Cantidad de segmentos; Long: longitud total de los segmentos (km)

Tabla 6. Distribución de las emisiones de CO₂ según la jeraquía de la ruta (Gg/año) para el año 2012

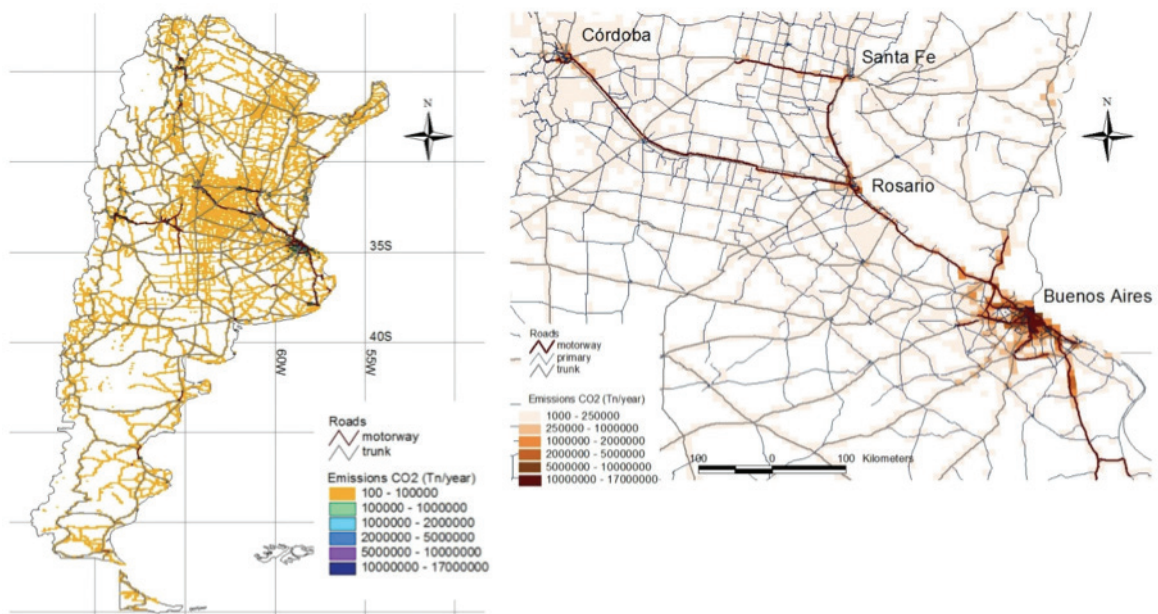


Fig. 5. Asignación de vehículos diarios por segmentos y comparación con las medidas de TDMA en rutas nacionales. Derecha: detalle de la zona de Buenos Aires – Rosario.

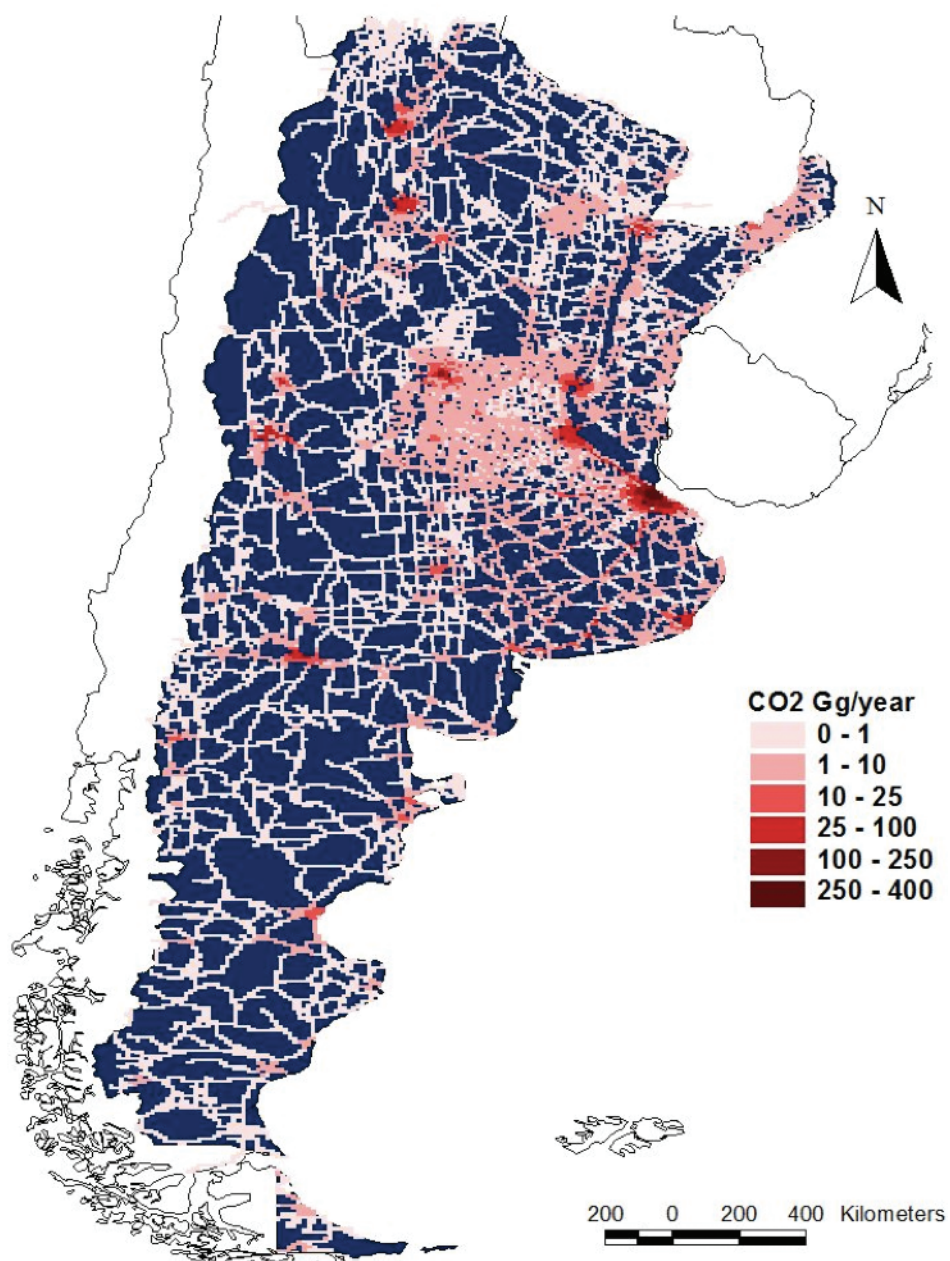


Fig. 6. Mapa de emisiones de CO₂ por línea

Conclusión

Los modelos de calidad del aire requieren del ingreso de mucha información de base, como es el tipo de uso del suelo, la topografía, los datos meteorológicos y especialmente los inventarios de emisión de las fuentes disponibles en el área bajo estudio. En los modelos regionales, este requerimiento es un verdadero desafío, por la extensión de las escalas usadas (de cientos a miles de km) y fundamentalmente por la escasez de datos organizados disponibles. Por otra parte, las bases de datos internacionales no tienen la misma resolución para todas las naciones, pudiendo ser en algunos países de baja resolución espacial asociada a grandes distritos (cientos de km).

Para la metodología propuesta en este trabajo la variable básica es la actividad vehicular vehículo-km transportados (VKT), que se estima a partir del consumo de combustible por grilla y una eficiencia de combustible. Esta información luego se distribuye estáticamente según una jerarquía vial y la longitud del segmento de calle. El consumo de combustible se obtiene del consumo por distrito, pero pesado por la

banda roja de la imagen de *Earth at night*. A fin de distribuir este consumo en las zonas rurales, el consumo de combustible es diluido con una función bigaussiana, que implícitamente considera que los flujos de tráfico son más intensos cerca de las zonas urbanas y se diluye a medida que nos alejamos de ella.

Finalmente conviene destacar, que si bien la grilla de base es de 9×9 km, al producir un mapa de línea con los tráficos medios anuales y sus respectivas emisiones, es posible generar mapas de mayor resolución espacial, en especial para usar en modelos de calidad del aire de escala local o regional media. En estudios posteriores se incluirán a este Atlas de Argentina otras fuentes de emisiones.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica Nacional y CONICET por el apoyo a las actividades de investigación. Este trabajo se enmarca en los Proyectos UTN PID IFI 1799 y 1487 y PIP CONICET 112 201101 00673.

Referencias

- ALLENDE, D. G., (2011), Sistema de Modelado Ambiental Multiescala y Multimodo, Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería.
- BALDASANO, J. M.; GÜERCA, L. P.; LÓPEZ, E.; GASSÓ, S.; JIMÉNEZ GUERRERO, P., (2008), Development of a high-resolution (1 km × 1 km, 1 h) emission model for Spain: the high-elective resolution modelling emission system (HERMES), *Atmospheric Environment* 42, 7215-7233.
- BASTANI, P.; HEYWOOD, J. y HOPE, C., (2012), The effect of uncertainty on US transport-related GHG emissions and fuel consumption out to 2050, *Transportation Research Part A*, (46), 517-548.
- BINKOWSKI, F. S. and ROSELLE, S. J., (2003), Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) model aerosol Component 1, Model description, *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*, 108(D6), 4183.
- BORREGO, C.; TCHEPEL, O.; COSTA, A.; AMORIM, J. y MIRANDA, A., (2003), Emission and dispersion modelling of Lisbon air quality at local scale, *Atmospheric Environment* 37, pp. 5197-5205.
- BRUCKMAN, L.; DICKSON, R. J. y WILKONSON, J. G., (1992), The use of GIS software in the development of emissions inventories and emissions modeling, In: *Proceedings of the Air and Waste Management Association*, Pittsburgh, PA.
- CIMORELLI, A. J.; VENKATRAM, A.; WEIL, J. C.; PAINE, R.; WILSON, R. y LEE, R., (2003), AERMOD: Description of model formulation, Environmental Protection Agency.
- COATS, C., (1995), High Performance Algorithms in the Sparse Matrix Operator Kernel Emissions Modeling System, Microelectronics Center of North Carolina, Environmental Systems Divisions.
- DAVIS, N.; LENTS, J.; OSSES, M.; NIKKILA, N. y BARTH, M., (2005), Development and Application of an International Vehicle Emissions Model, *Transportation Research Record*, 51-59.
- GRELL, G. A.; PECKHAM, S. E.; SCHMITZ, R.; MCKEEN, S.; FROST, G. y SKAMAROCK, W. C., (2005), Fully coupled "online" chemistry within the WRF model, *Atmospheric Environment*, 39(37), 6957-6975.
- GUALTIERI, G. and TARTAGLIA, M., (1998), Predicting Urban Traffic Air Pollution: A GIS Framework", *Transportation Research Part D*, 3 (5), pp. 329-336.
- GUTTIKUNDA, S. y CALORI, G., (2013), A GIS based emissions inventory at 1 km × 1 km spatial resolution for air pollution analysis in Delhi, India, *Atmospheric Environment*, 67, pp. 101-111.
- HAO, H.; WANG, H. y OUYANG, M., (2011), Fuel conservation and GHG (Greenhouse gas) emissions mitigation scenarios for China's passenger vehicle fleet, *Energy*, 36, pp. 6520-6528.
- LIN, M. and LIN, C., (2002), The application of GIS to air quality analysis in Taichung City, Taiwan, ROC, *Environmental Modelling & Software* 17 (2002) 11-19.
- NTZIACHRISTOS, L. and SAMARAS, Z., (2000), COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport Methodology and emission factors, Technical Report No 49, EEA, Copenhagen.
- PULIAFITO, S.E.; ALLENDE, D.; FERNANDEZ, R.; CASTRO, F. y CREMADES, P., (2011), New approaches for urban and regional air pollution modelling and management, In *Advance in Air Pollution*, Farhad Nejadkoorki (Ed), Intech, pp. 429-454.
- PULIAFITO, S.E.; GUEVARA, M. y PULIAFITO, C., (2003), Characterization of urban air quality using GIS as management system, *Environmental Pollution*, 122, pp. 105-117.
- RENTZIOU, A.; GKRTZA, K. y SOULEYRETTE, R., (2012), VMT, energy consumption, and GHG emissions forecasting for passenger transportation, *Transportation Research Part A* 46, pp. 487-500.
- SCIRE, J. S.; STRIMAITIS, D. G. y YAMARTINO, R. J., (2000a), A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model, Concord, MA.
- SINGER, B. C. y HARLEY, R. A., (1996), A fuel-based motor vehicle emission inventory, *Journal of Air and Waste Management Association* 46, pp. 581-593.
- SKAMAROCK, W. C.; KLEMP, J. B.; GILL, D. O.; BARKER, D. M.; WANG, W. y POWERS, J. G., (2008), A Description of the Advanced Research WRF Version 3, Mesoscale and Microscale Meteorology Division, National Center for Atmospheric Research.
- UHEREK, E.; HALENKA, T.; BORKEN-KLEEFELD, J.; BALKANSKI, Y.; BERNTSEN, T.; BORREGO, C.; GAUSS, M.; HOOR, P.; JUDA-REZLER, K.; LELIEVELD, J.; MELAS, D.; RYPDAL, K. and SCHMID, S.,

YAN, X. y CROOKES, R., (2009), Reduction potentials of energy demand and GHG emissions in China's road transport sector, *Energy Policy* (37), pp, 658–668.

ZHANG, K. y BATTERMAN, S., (2010), Near-road air pollutant concentrations of CO and PM_{2,5}: A comparison of MOBILE6,2/CALINE4 and generalized additive models, *Atmospheric Environment* 44, PP 1740-1748.

ADEFA, Asociación de Fábricas de Automotores www.adefa.org.ar

BEN, Balance Energético Nacional, www.energia3.mecon.gov.ar

BP (2010), *British Petroleum Statistical Review of World Energy*, BP, London, UK (2010).

DNRPA, Dirección Nacional del Registro de la Propiedad Automotor www.dnrpa.gov.ar

DNVA: Dirección Nacional de Vialidad de Argentina <http://www.vialidad.gov.ar/>

EDGAR, (2011), Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGARv4,2), <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/>

EIA, International Energy Outlook www.eia.gov/ieo

EMEP, (2007), EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook e 2007, EEA Technical Report No 16/2007, European Environment Agency, Copenhagen, <http://reports.eea.europa.eu/EMEP-CORINAIR5/en/>

IEA (2010b) International Energy Agency, CO₂ Emissions from Fuel Combustion, IEA, Paris, France.

IEA(2010a), International Energy Agency, Energy Balances of Non-OECD Countries; and Energy Balances of OECD Countries, IEA, Paris, France.

IGNA, Instituto Geográfico Nacional <http://www.ign.gob.ar/>

INDEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (Argentine National Institute for Statistics and Census) <http://www.indec.mecon.ar/>

IPCC, (2007), *Climate Change 2007, Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, In: Pachauri RK, Reisinger A (eds,) IPCC, Geneva, Switzerland.

NOAA-NGDC, 2010, Version 4 DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series [WWW Document] URL <http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/downloadV4composites.html>

Openstreetmap, Free open source maps of the world, <http://www.openstreetmap.org/about>

SEN, Secretaría de Energía de la Nación (Secretary of Energy), www.energia3.mecon.gov.ar

STN, Secretaría de Transporte de la Nación (Secretary of Transportation), www.transporte.gov.ar

The International Vehicle Emissions (IVE) Model <http://www.issrc.org/ive/>

UN (2010), United Nations, *Energy Statistics Yearbook*, UN, NY, USA,

Ciclo energético sustentable productor de biogás

Nahuel Casá², Fernando Scattolin², Nicolás Galante¹, Patricia Della Rocca², Horacio Trigubó¹

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Mecánica, Medrano 951 (C1179AAQ), Buenos Aires, Argentina

² Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Química, Grupo de Investigación y Desarrollo en Tecnologías Químicas Aplicadas (IDETQA) Medrano 951 (C1179AAQ), Buenos Aires, Argentina

patriciadellarocca@hotmail.com

Recibido el 24 de septiembre de 2014, aprobado el 13 de noviembre de 2014

Resumen

Con el fin de obtener energía con mínimo impacto ambiental, se desarrolló un ciclo energético que contempla la producción de biogás a partir de residuos de biomasa algal. Estos residuos han resultado luego de la extracción de compuestos de interés. La posterior combustión del biogás permite utilizar el dióxido de carbono para el cultivo de las algas. Las microalgas se cultivaron en el laboratorio y luego se repicaron en un fotobiorreactor tipo carousel de mayor volumen. Las algas obtenidas se secaron y luego se sometieron a la extracción de antioxidantes, de interés industrial. A partir de los residuos de algas obtenidos se generó biogás en un biodigestor. En una segunda etapa, el biogás generado se empleará en poner en movimiento un motor de baja potencia, que será empleado para accionar un generador eléctrico. El gas de combustión que produce el motor podrá acumularse y recircularse a través de un sistema de burbujeo al fotobiorreactor de cultivo de algas. A partir de las experiencias realizadas se pudo comprobar la factibilidad del ciclo propuesto.

PALABRAS CLAVE: BIOGAS – BIOCOMBUSTIBLES – BIOENERGÍA - CICLO ENERGÉTICO SUSTENTABLE

Abstract

To obtain power within a minimum ambient impact an energetic cycle was developed including biogas production from algal biomass residues. These residues become from a previous extraction to obtain valuable compounds. Combustion of said biogas yields carbon dioxide to be applied as feed to algae culture. Microalgae were cultured at laboratory scale and afterwards propagated in a higher volume carousel type photobioreactor. The formed algae were concentrated, dried and extracted to obtain antioxidants of industrial significance. The solid remains were treated in a biodigestor and yields biogas. In a second step this biogas is used as a fuel in a low power motor for electric generation. Exhaust gas from the motor is to be stored and recycled to the photobioreactor to feed by bubbling the algae culture. Tests performed showed the feasibility of the whole proposed cycle.

KEYWORDS: BIOGAS – BIOFUELS – BIOENERGY – SUSTAINED ENERGETIC CYCLE

Introducción

En los últimos años el debate mundial acerca del calentamiento global ha adquirido una importante relevancia. Por otra parte, el agotamiento de fuentes fósiles de energía plantea un panorama poco alentador. En este sentido, las fuentes renovables de energía tendrán un papel fundamental al modificar la composición de la "canasta" de fuentes energéticas. Simultáneamente, se hace necesaria la reducción de las emisiones gaseosas causantes del efecto invernadero, particularmente el dióxido de carbono (CO₂). La habilidad de los cultivos de microalgas para utilizar altos volúmenes de CO₂ en su fotosíntesis puede ser empleada para mitigar estas emisiones. De esta manera, el CO₂ proveniente de procesos industriales y de la generación de energía eléctrica podría ser utilizado por las algas en su desarrollo. Entre las fuentes de energía renovables, el biogás producido a partir de diferentes tipos de sustratos se presenta como una alternativa viable para contribuir a satisfacer el incremento de la demanda mundial de energía.

El biogás es una mezcla gaseosa constituida principalmente por metano, dióxido de carbono y trazas de otros gases como sulfuro de hidrógeno, vapor de agua, nitrógeno, hidrógeno y oxígeno. La composición del biogás depende del material digerido y de las condiciones de proceso. La digestión anaeróbica puede llevarse a cabo con residuos orgánicos provenientes de las actividades antrópicas. Los residuos orgánicos pueden provenir de la producción animal, agrícola, agroindustrial, urbana u otros. En este trabajo se emplearon residuos de biomasa algal.

En países como China e India en los años 1970-1980, el biogás comenzó a aprovecharse para producir energía. Sin embargo, el desarrollo de procesos de biodigestión en los países industrializados se relacionó con el cuidado del medio ambiente más que con fines energéticos. La producción de biogás empezó a recobrar importancia para reducir los residuos orgánicos y aprovechar su potencial energético. Algunos de los efectos benéficos del uso de biogás asociados al cuidado del medio ambiente, calidad de vida y diversificación de la matriz energética son:

1. Solución a la disposición final de los resi-

duos reduciendo la contaminación del agua y del suelo

2. Disminución de la deforestación al reemplazar el consumo de leña.
3. Sustitución total o parcial de la aplicación de fertilizantes sintéticos.
4. Reducción de la emisión a la atmósfera de gases contaminantes como monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y material particulado.
5. Conversión de los residuos en materias primas con valor energético.
6. Contribución al cumplimiento de la Ley N° 26190 de energías renovables sancionada en 2006, que fomenta el uso de fuentes renovables destinadas a la producción de energía eléctrica. En su artículo 2, la Ley propone lograr una contribución de las fuentes renovables del 8 % al aporte de energía total en 10 años desde la puesta en vigencia de la ley.

El biogás producido puede tener distintas aplicaciones:

1. Generación de energía térmica en calderas.
2. Generación de electricidad en motores o turbinas.
3. Combustión en automóviles.
4. Incorporación del mismo a una red de gas natural previa purificación e incorporación de aditivos.

La energía disponible en el biogás depende de las cantidades de biogás y de la proporción de metano en su composición. Se estima que el biogás tiene un poder calorífico de aproximadamente 6,5 -7 kWh/m³, cuando la composición es de un 65 % de metano y un 35 % de dióxido de carbono. Entonces, un metro cúbico de biogás equivale aproximadamente a 0,6 L de gas-oil, 0,7 L de nafta, 0,3 kg de carbón o 0,6 m³ de gas natural.

Durante la fermentación anaeróbica de la materia orgánica de los residuos intervienen las siguientes etapas (Hilbert, 2010):

Fase de hidrólisis: Las bacterias fermentativas (facultativas) toman la materia orgánica compuesta de largas cadenas carbonadas y las rompen en cadenas de menor longitud. Se forman así ácidos orgánicos como el butírico y propiónico, alcoholes y otros compuestos de cadena corta.

Fase de acidificación: Las bacterias acetogénicas realizan la degradación de los compuestos de la etapa anterior en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.

Fase metanogénica: Las bacterias metanogénicas (anaeróbicas estrictas) transforman el ácido acético en metano y dióxido de carbono principalmente, que constituyen el biogás.

Las microalgas son microorganismos potencialmente valiosos, son fábricas celulares que convierten el dióxido de carbono, gas de efecto invernadero, en biomasa que produce una serie de metabolitos y variedad de compuestos bioactivos de gran interés comercial. Son fotoautótrofos, requieren luz, agua y nutrientes inorgánicos para su crecimiento. Las algas utilizan el CO₂ como fuente de carbono y por consiguiente, pueden colaborar con la mitigación del CO₂ del ambiente y reducir el efecto invernadero. Uno de los beneficios de la producción de la biomasa algal es la obtención de sustancias muy valiosas para la industria de los alimentos, los cosméticos, los productos farmacéuticos, el tratamiento de efluentes indus-

triales, la producción de biodiesel, etc.

Metodología

El ciclo energético sustentable (Figura 1) comprende las siguientes etapas:

Producción de Biomasa Algal

El cultivo de las algas de la especie *Spirulina platensis* se realiza en medio Zarrouk, en principio a escala laboratorio con la finalidad de determinar las condiciones óptimas de cultivo (pH, fotoperíodo, temperatura, etc.) (Figura 2).

Posteriormente, se realiza la producción de biomasa algal a una mayor escala en un fotobiorreactor de tipo carousel (Figura 3), dicho reactor ha sido diseñado de modo de permitir las condiciones necesarias para lograr un crecimiento óptimo de las algas.

El fotobiorreactor de un volumen aproximado de 6 L, posee un variador de velocidad que le permite poder controlar la intensidad de agitación de las microalgas para favorecer y hacer más eficiente la exposición a la luz de las mismas. La variación de velocidad se logra a través del ajuste de la frecuencia de la corriente de alimentación al motor. La agitación se realiza con unas paletas de inclinación graduable que giran por el accionar del motor de velocidad variable y un sistema de inyección de gases en el fondo del fotobiorreactor.

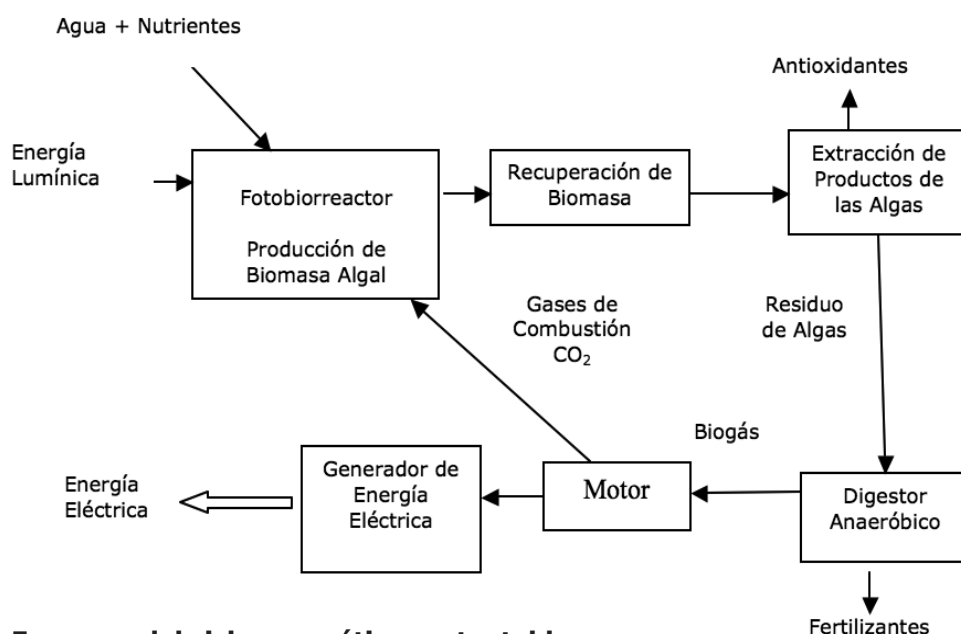


Fig. 1. Esquema del ciclo energético sustentable

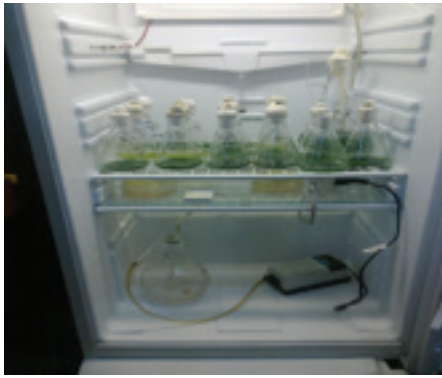


Fig. 2. Cultivo de algas a escala laboratorio

La iluminación del biorreactor se realiza por un sistema de *leds* y tubos fluorescentes. La misma está controlada por un *timer* para lograr los fotoperiodos necesarios para que las microalgas crezcan y se reproduzcan de forma eficiente y controlada (12 h de iluminación y 12 h de oscuridad). La intensidad de la luz es de 3000 lux y el fotobiorreactor se termostatóizó en 22 °C mediante un controlador de temperatura.

Recuperación de la biomasa

Esta etapa consiste en la concentración de la biomasa utilizando distintos métodos de separación físicos. La concentración de la biomasa a escala laboratorio se realiza mediante filtración y al aumentar la escala de producción se emplea sedimentación y centrifugación.

Extracción de productos de la biomasa

Luego de reacondicionar la biomasa algal extrayendo las sales solubles con lavados y re-suspendiendo la misma en agua destilada, se

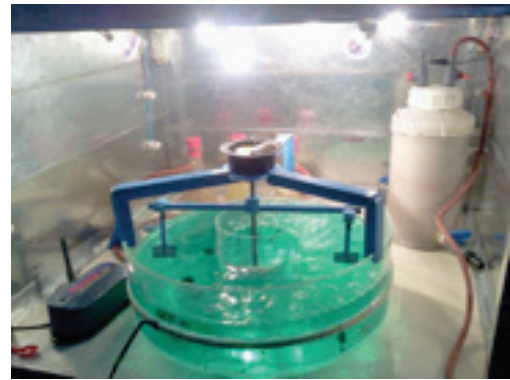


Fig. 3. Fotobiorreactor tipo carousel

extrajeron los antioxidantes con una solución alcohólica. El residuo de algas obtenido, luego de la extracción de los antioxidantes, se reacondicionó y se utilizó para producir biogás en el biodigestor.

Fermentación anaeróbica en el biodigestor

El residuo de algas se utiliza como sustrato en el proceso de digestión anaeróbica. El mismo se mezcla con el inóculo (estiércol de cerdo) formando entre ambas una mezcla semilíquida que constituye la alimentación al digestor anaeróbico. En esta etapa se produce biogás y un lodo que tiene aplicaciones como biofertilizante.

Se construyó un biodigestor con sistema de recirculación de lodos y una cámara para mantener la temperatura adecuada para el proceso de digestión. En la (Figura 4) se presenta el biodigestor dentro de la cámara.

El residuo de biomasa algal (sustrato) se secó en estufa a 50 °C durante 5 días. Se de-

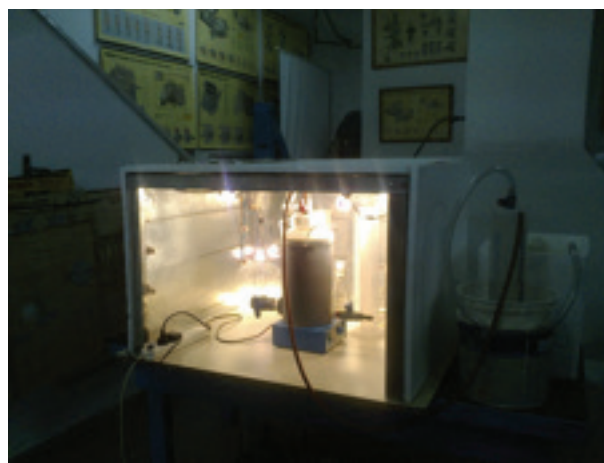


Fig. 4. Biodigestor con sistema de recirculación dentro de cámara termostática

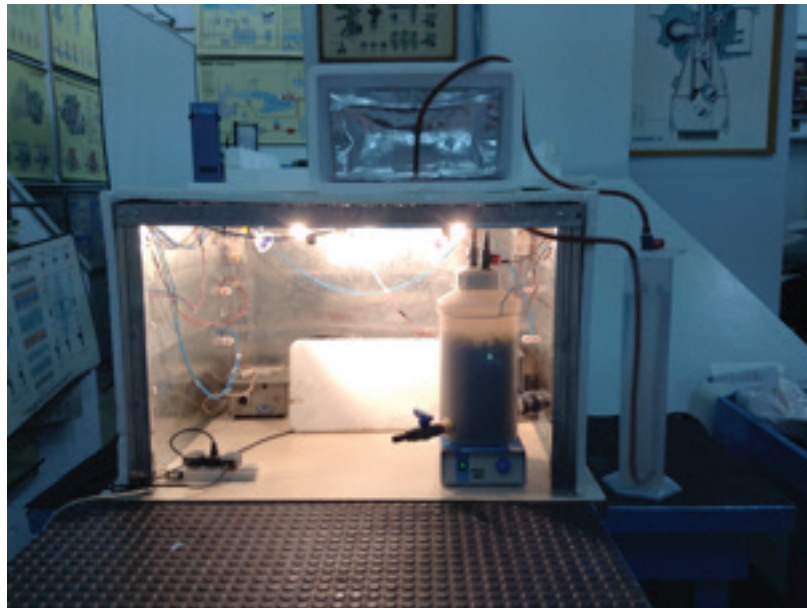


Fig. 5. Sistema de captación y medición de biogás y bolsa colectora (parte superior)

terminó la humedad del inóculo y del sustrato, luego del proceso de secado.

Ensayos de biodigestión

Se realizaron los ensayos de biodigestión utilizando distintas relaciones sustrato/inóculo (R:3, R:6 y R:30) para seleccionar la relación más favorable para la máxima producción de biogás.

El sistema de captación de los gases producidos en el biodigestor y el de medición del mismo se muestra en la Figura 5.

El biogás colectado en la bolsa se analiza cromatográficamente para determinar la composición del mismo en porcentaje molar.

Generación de energía eléctrica

La generación de energía que plantea este ciclo energético es a partir de la combustión del biogás generado, en un motor de baja potencia, que se halla acoplado a un generador eléctrico. El dióxido de carbono (CO_2), que se produce en la combustión del biogás, se utiliza para suministrarlo a las algas del fotobiorreactor para que lo utilicen para su crecimiento y reproducción.

Características del motor

Motor VILLA de 2,5 HP con su generador eléctrico (alternador 12V; 30A)

Se trata de un motor nacional de bajo costo y



Fig.6. Motor

de posible aplicación en las actividades rurales de nuestro país con la capacidad de funcionar con su combustible original (nafta) y con otros combustibles alternativos gaseosos como biogás, glp y gnc. En la Figura 6 se presenta el motor.

Resultados y análisis

La humedad medida para el estiércol de porcino (inóculo) fue de 69,11 % y la humedad del residuo de biomasa algal, luego de desecado fue del 6,62 %.

A continuación en la Figura 7 se presentan las curvas de producción de biogás en función del tiempo correspondientes a los datos experimentales obtenidos para las diferentes relaciones sustrato/inóculo. Estos datos se ajustan satisfactoriamente con una función polinómica de 2º grado.

A partir de los resultados alcanzados se pudo apreciar que las menores relaciones g de sustrato/g de inóculo medidas en base seca, favorecen la producción de biogás. Estos resultados están en concordancia con los obtenidos por otros autores considerados en la bibliografía (Quintero Vega et al., 2012).

Se aprecia en la Tabla 1 la composición del biogás determinada por cromatografía.

La productividad para las distintas relaciones sustrato/inóculo se calcularon teniendo en cuenta la máxima producción de biogás que se produjo entre los 12 y los 16 días de retención. Las mismas se presentan en la Tabla 2.

Como puede apreciarse en la Tabla 2, la mayor productividad se obtuvo para una relación sustrato/inóculo de 6.

Conclusiones

La producción de biogás es inversamente proporcional a la carga orgánica de residuo de *Spirulina* adicionada, mostrando una disminución significativa en la producción al aumentar la relación g de sustrato/g de inóculo. Se verificó que una relación g de sustrato/g de inóculo igual a 3 (tres) produjo una mayor cantidad de biogás en menor tiempo. Se obtuvo una máxima producción de biogás a los 12,5 días de comenzado el ensayo con esta relación. Sin embargo la mayor productividad se obtuvo para una relación de 6.

En las experiencias se pudo apreciar que el control del pH en la producción de biogás es muy importante y que la mejor producción se obtiene a pH 7 (Chen, 1996).

Los resultados obtenidos en este estudio preliminar demuestran que el estiércol de por-

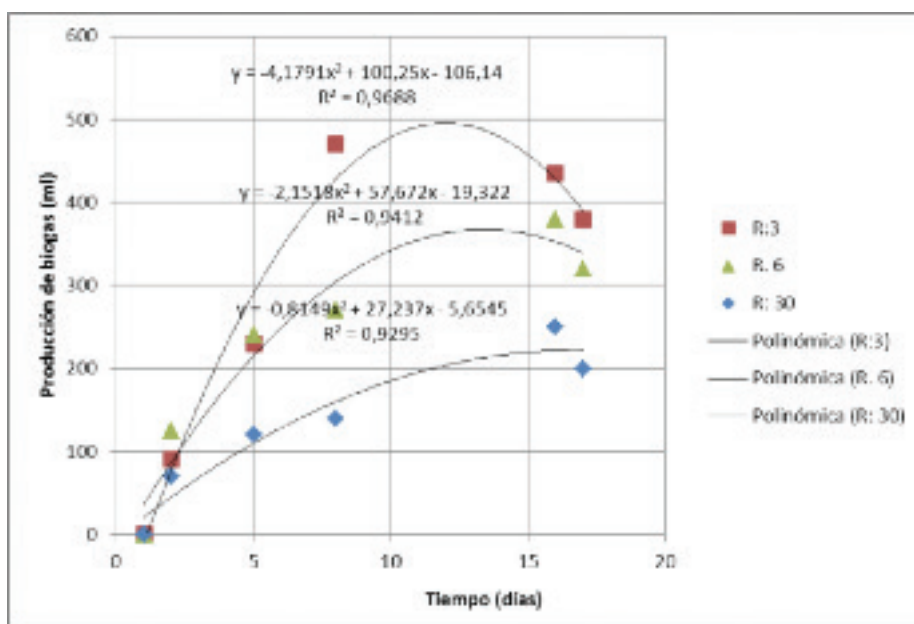


Fig. 7. Curva de producción de biogás para las diferentes relaciones sustrato/inóculo

Componentes	Porcentaje Molar
Metano	64,5
Dióxido de Carbono	35,0
Trazas de otros gases	0,5

Tabla 1. Composición del biogás producido

Relación sustrato/inóculo	Productividad (ml de biogás/g de <i>Spirulina</i>)
3	31,60
6	47,90
30	5,35

Tabla 2. Productividad de biogás para las diferentes relaciones sustrato/inóculo

cino presenta una adaptación favorable al sustrato utilizado, residuo de biomasa algal proveniente de *Spirulina platensis*, indicando que los consorcios microbianos de este inóculo proporcionan una alta actividad metanogé-

nica, por consiguiente, este inóculo puede ser utilizado para degradar este tipo de residuo.

El biogás obtenido presenta un porcentaje molar de metano bastante alto, del 65 %.

Referencias

- CHEN, T. y HASHIMOTO, A., (1996) "Effects of pH and substrate: inoculum ratio on batch methane fermentation", *Bioresource Technology*, 56, p 179-186.
- HILBERT, J. A., (2010) Manual para la producción de biogás del Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar, <http://inta.gob.ar/documentos/manual-para-la-produccion-de-biogas>
- QUINTERO VEGA, M. C. y RONDÓN CASTRO, Y. P. , (2012) Estudio preliminar de la producción de biogás a partir de la digestión anaeróbica de mucílago de café utilizando lodo estiércol de cerdo como inóculo, Universidad Nacional de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería Química, Bucaramanga, Colombia.
- CARVALHO, A.P.; MEIRELES, L.A. y MALCATA, F.X., (2006) Microalgal reactors: A review of enclosed system designs and performances. *Biotechnology Progress* 22: 1490.
- SPOLAORE, P.; JUANNIS-CASSAN, C.; DURAN, E. y ISAMBERT, A., (2006) Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 101: 87-96.
- DE LEMOS CHERNICHARO, C.; DESA, UFMG, (2000) Reactores Anaeróbicos, Principios do Tratamiento Biológico de Aguas Residuales, Vol. 5.
- SPEECE, R.E., (1996) *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters*, Archae Press.

Actitudes y aptitudes emprendedoras de los estudiantes de ingeniería de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional

Sebastián Brie¹, Julieta Ursino¹, Pablo Sierra²

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Industrial, Medrano 951, (C1179AAQ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

² Municipalidad de General San Martín, Secretaría de Producción y Desarrollo Económico, Programa San Martín Innovador, Belgrano 3747, (B1650CCM), San Martín, Provincia de Buenos Aires, Argentina

sebasbrie@gmail.com

Recibido el 20 de diciembre de 2014, aprobado el 7 de febrero de 2015

Resumen

En este trabajo se estudia la importancia de las actitudes y aptitudes emprendedoras en los profesionales de ingeniería para fomentar la creación de Empresas de Base Tecnológica (EBTs), contribuyendo de esa forma al desarrollo socioeconómico. En ese marco, se investiga en qué medida los alumnos de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional (FRBA UTN) poseen las mencionadas aptitudes y actitudes, como punto de partida para el estudio y diseño de nuevas intervenciones pedagógicas que permitan mejorarlas.

PALABRAS CLAVE: EMPRENDEDORISMO EN INGENIERÍA - ACTITUD EMPRENDEDORA -

Abstract

It finds the importance of entrepreneurial attitudes and aptitudes of the engineering professionals as a way to promote the creation of Technological Based Enterprises (TBE), contributing to the economic development. In this frame, we look the degree of progress of the FRBA UTN students' aptitudes and attitudes before mentioned, as an initial point for studying and designing some new educational interventions in order to improve them.

KEYWORDS: ENGINEERING ENTREPRENEURSHIP - ENTREPRENEUR ATTITUDE - ENTREPRENEUR APTITUDE - CREATION OF TECHNOLOGICAL BASED ENTERPRISES

Introducción

Hay muchas definiciones del término "emprendedor". Una posible es aquella que define a los emprendedores como personas que buscan generar valor a través de la creación o expansión de actividad económica, identificando y explotando nuevos productos, procesos o mercados (OCDE - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, "*Measuring Entrepreneurship. A collection of indicators*", 2009)

El emprendedorismo está asociado al cambio, a la adaptación, al conocimiento, a la flexibilidad y la innovación (Sierra, 2011).

Cada vez hay más evidencias de que el emprendedorismo contribuye al desarrollo económico. La formación de nuevos negocios conduce a la generación de empleo y tiene un efecto multiplicador sobre la economía. El hecho de transformar ideas en oportunidades de negocio, y éstas en explotaciones económicas viables, es la base sobre la que se construye el concepto de emprendedorismo. La historia muestra que el progreso económico ha sido motorizado por individuos pragmáticos, emprendedores e innovadores, con la capacidad de identificar y explotar oportunidades, y con el deseo y la fortaleza necesarios para tomar riesgos (UNCTAD, 2004)

Para comprender las características complejas que presenta la actividad emprendedora es preciso concebir la innovación justamente como un proceso sistémico y no aislado. En él se encuentran involucrados, en constante diálogo y correlación, una cantidad importante de agentes económicos coordinados para que se den las condiciones que faciliten la generación de este fenómeno de clara naturaleza colectiva.

El economista Joseph Schumpeter (1911) fue el primer teórico importante en sistematizar un análisis sobre la figura del emprendedor y el entorno en el que se desarrolla. La figura del empresario innovador "se erige como aquel en cuyas manos se encuentra el devenir de la economía y el poder de desviarla del estado estacionario en que se encuentra, al introducir nuevas combinaciones en los factores productivos que se traducen en cambios cualitativos que facilitan el proceso de desenvolvimiento económico".

Precisamente, uno de los aportes más relevan-

tes de Schumpeter al caracterizar los fundamentos de la teoría evolucionista es el concepto y la dinámica transformadora del sistema de la destrucción creadora, en el que se otorga un papel protagónico a la innovación como generadora de un proceso endógeno de desarrollo. Bajo esta óptica, el desarrollo tecnológico "se vuelve uno de los pilares fundamentales sobre los que se sustenta el crecimiento del sistema y permite su reproducción y supervivencia. El empresario innovador, el emprendedor, tiene un papel protagónico en este proceso y cumple el rol de iniciar estos cambios y disparar los saltos cualitativos en términos de productividad, que permiten transformar la función de producción, elevando la capacidad productiva de la economía a un nivel superior".

La figura del emprendedor juega de manera combinada con el concepto de innovación. Siempre según el mismo autor, "el emprendedor, a través de innovaciones en bienes, métodos, organización de la producción, nuevos mercados o nuevas fuentes de materias primas, pone en marcha la economía, destruyendo el equilibrio de baja rentabilidad que impera en el estado estacionario del flujo circular, rompiendo también las relaciones económicas existentes".

A diferencia del mundo neoclásico, en el sistema schumpeteriano la innovación es la fuente del beneficio. Son las innovaciones las que le permiten al sistema seguir adelante sin caer en el estado estacionario de equilibrio con bajo nivel de producción e ingresos. La esencia del desarrollo económico está en la función innovadora, en las combinaciones productivas que efectúan los empresarios y que rompen la rutina de la vida económica, y el sujeto que introduce las innovaciones es el empresario.

Antes de Schumpeter, los economistas neoclásicos pensaban que el cambio tecnológico era algo exógeno, que venía de "afuera" y no podía modificarse. El cambio tecnológico era algo residual. Una caja negra cuyo dominio pertenecía al ámbito de los ingenieros. Paradójicamente se le reconocía una gran incidencia sobre las tasas de crecimiento en distintas funciones de producción. O sea que en el análisis que se hacía sobre funciones de producción diferentes (distintos sectores), lo que sobresalía como diferente era la variable tecnológica. A pesar de eso, a la variable tecnológica se la consideraba una constante.

A partir de Schumpeter, la innovación y la evolución de la tecnología comienzan a considerarse como un vehículo del cambio tecnológico, que a su vez funciona como un determinante del cambio estructural que condiciona el desarrollo económico de largo plazo de cada nación. De ahí la atención puesta en explicar los procesos de innovación, quitando del centro del análisis al individuo y poniendo en su lugar una sinergia evolutiva entre el individuo, la sociedad y las instituciones que la estructuran.

El rol que juega el Estado en la economía neoschumpeteriana es fundamental, ya que se considera a la tecnología como un proceso inscripto a su vez en el proceso productivo y como un resultado de éste, haciendo que muchas elecciones de hoy impacten en el sendero de oportunidades y capacidades tecnológicas del futuro. La especialización productiva determina las posibilidades de un desarrollo tecnológico dinámico futuro a nivel agregado. Por este motivo, el Estado tiene un papel clave en los procesos de innovación, en tanto es el agente catalizador del mecanismo por el cual se producen las mediaciones entre los pequeños empresarios innovadores y el desarrollo de la economía. "En la medida en que las instituciones económicas y financieras sean capaces de adaptarse y apoyar la actividad emprendedora basada en la búsqueda de oportunidades, los nuevos emprendimientos innovadores podrán emerger y actuar como los impulsores principales del desarrollo económico (Serida, Nakamatsu y Ueharam, 2010). En este aspecto es que las políticas públicas se vuelven relevantes para cambiar el paradigma tecnoeconómico.

Los factores institucionales (las variables por fuera del mercado) resultan, entonces, decisivos en la determinación de los procesos de aprendizaje y de desarrollo de las innovaciones, y de las características que emerjan de las microestructuras. Las medidas de política, las reglas sociales implícitas, la forma de organización e interrelación entre agentes económicos dominantes y los niveles y formas de conflicto industrial son algunas de las muchas características que inciden en estos procesos de ajuste y en la toma de decisiones de los agentes.

De modo que la importancia que cobra el empresario innovador a partir de la obra de Schumpeter produce el nacimiento de un vasto movimiento académico que analiza y trata de

decodificar el fenómeno del cambio tecnológico y el rol de la innovación en el desarrollo. Este enfoque tiene suma vigencia y se constituye lentamente como el marco teórico-conceptual de las corrientes actuales para explicar los procesos económicos más trascendentes. Como indica el informe de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE): "está universalmente aceptado que el emprendedorismo es fundamental para el crecimiento económico, la productividad, la innovación y el empleo, y muchos de los países aglutinados en la OCDE han hecho del emprendedorismo una prioridad a la hora de implementar políticas públicas. A medida que la globalización da nuevas formas al paisaje económico internacional y, el cambio tecnológico genera mayores incertidumbres en la economía mundial, se considera que el emprendedorismo puede ofrecer nuevos caminos para lograr satisfacer los desafíos económicos, sociales y medioambientales que se presentan".

El análisis del cambio tecnológico como motor del proceso de desarrollo, el papel protagónico del emprendedor en dicho proceso y el rol del Estado en la articulación de políticas que permitan el surgimiento de sus capacidades emprendedoras, se convierten en una necesidad imperante si se pretende comprender la naturaleza de los procesos de cambios estructurales que permiten sostener un ritmo de crecimiento elevado.

Desde esta perspectiva, planteamos esta síntesis ajustada a modo de encuadre, para contextualizar nuestro interés por el fenómeno del emprendedorismo innovador, priorizando las teorías que resaltan la formación y el capital humano como aspecto clave de los procesos de innovación.

El Global Entrepreneurship Monitor (GEM), programa de investigación a nivel global que estudia la relación entre la actividad emprendedora y el desarrollo económico, considera que el fenómeno no solo abarca a los emprendimientos asociados a la innovación, sino también a los vinculados a la supervivencia. Este programa desarrolló un índice denominado *Total Entrepreneurship Activity (TEA)*, que mide la proporción de personas entre los 18 y los 65 años que actualmente se encuentran involucrados en un emprendimiento. Con este índice, es posible establecer tres grupos de países.

A los países con niveles de desarrollo bajo, se los denomina: "economías basadas en los recursos", y les corresponde un alto nivel de actividad emprendedora impulsada por la necesidad, ya que dichas economías no son capaces de mantener un elevado número de empleos. Estos países conforman el grupo 1.

A medida que la economía se desarrolla y los sectores productivos crecen, aparece un segundo grupo de países, con "economías basadas en la eficiencia", en los que el nivel de la actividad emprendedora por necesidad declina gradualmente, al aparecer nuevas oportunidades de empleo. Son los países pertenecientes al grupo 2. Paralelamente al incremento del empleo, en estos países comienza a elevarse el nivel de actividad emprendedora basada en la oportunidad, con lo que se introduce un cambio cualitativo en la actividad emprendedora en su conjunto. Este fenómeno es conocido como la hipótesis de la curva en U (Serida, Nakamatsu y Ueharam, 2010)

En el tercer grupo, "economías basadas en innovación", el énfasis de la actividad empresarial va cambiando paulatinamente hacia una expansión del sector servicios que atiende las necesidades de una población de nivel socioeconómico cada vez más alto. Son los países que conforman el grupo 3. En ellos se registra una alta actividad emprendedora basada en las oportunidades, que busca generar innovaciones en productos, en procesos, en la comercialización, en la organización y/o en los modelos de negocios.

Muchos países de América Latina, incluida la Argentina, se encuentran en el grupo 2, con un índice TEA del 6,7%. Nuestro país supera esa media, teniendo además una proporción de emprendedores por oportunidad del 43%, cifra mayor al 36% de emprendedores por necesidad. Sin embargo, tiene aún un bajo porcentaje de emprendimientos innovadores.

Tradicionalmente, y en particular en los países del grupo 1 y 2, las facultades de Ingeniería tendían a preparar a sus alumnos para trabajar como empleados en las empresas, en cargos técnicos o de gestión. En general preparaban a los ingenieros para manejar empresas ya constituidas o trabajar en ellas. Más tarde, ante la realidad de que muchos profesionales se desempeñaban laboralmente como consultores independientes, comenzaron a aparecer en los contenidos curriculares materias y/o unidades

relacionadas con el trabajo del consultor. Estas dos alternativas configuran en la actualidad, el menú de opciones que tiene un ingeniero en el momento de decidir cómo ingresar al mundo productivo: ser empleado o ser consultor.

En las últimas décadas, sin embargo, el peso específico del desarrollo económico de las regiones y su capacidad de generar empleo y bienestar a sus poblaciones, se ha ido corriendo de la eficiencia de las grandes empresas a la capacidad de innovación de empresas más pequeñas, y a la capacidad de la sociedad en general de emprender y crear nuevas empresas para explotar oportunidades de negocios que se derivan de nuevos conocimientos tecnológicos. En este contexto, actualmente se considera de suma importancia que el ingeniero recién recibido tenga una tercera opción en su menú.

En Canadá, Estados Unidos y algunos países de Europa es común visualizar al ingeniero como un profesional que aportará al mundo productivo, como creador de empresas, de fuentes de trabajo y de divisas por exportaciones.

Muchas universidades ya ofrecen un admirable y sofisticado conjunto de actividades para el desarrollo emprendedor. En un trabajo, el profesor Gibb propone un nuevo Modelo de Emprendedorismo adaptado a las universidades, cuyas características claves son:

- Lograr que los alumnos y los profesores tengan "empatía" con los valores del emprendedorismo y sus maneras de pensar, hacer, sentir, comunicar, organizar y aprender.

- Desarrollar capacidades para el pensamiento estratégico y la planificación de escenarios, y la práctica de tomar decisiones intuitivas basadas en información incompleta.

- Crear una visión de la forma de vida de la persona emprendedora. Esto implica un fuerte énfasis pedagógico para la estimulación del sentido de propiedad, control, independencia, responsabilidad, autonomía y compromiso para ver oportunidades mientras se vive en la incertidumbre y complejidad.

- Estimular la práctica de comportamientos emprendedores, como por ejemplo buscar oportunidades, tomar la iniciativa, persuadir a otros y tomar decisiones intuitivas en un amplio rango de contextos.

- Maximizar la oportunidad para el aprendizaje

basado en la experiencia y el compromiso. Será de particular importancia crear espacios para el aprendizaje por ensayo y error. Los proyectos necesitarán ser diseñados para estimular los comportamientos emprendedores y llevados a cabo de acuerdo a ese objetivo.

- Crear la capacidad de aprendizaje de las relaciones, manejar redes de contactos, saber quién es quién, y manejo de las bases para establecer relaciones basadas en la confianza.

- Participar del proceso de desarrollo de una organización desde el inicio, pasando por la supervivencia hasta su crecimiento e internacionalización. Esto demandará poner foco en la dinámica del cambio, la naturaleza de los problemas y oportunidades y la forma de anticiparse a ellos.

- Enfocarse en la administración de organizaciones y la integración de conocimientos. Desde el punto de vista académico, deberá trabajarse construyendo conceptos sobre problemas y experiencias.

- Crear la capacidad de diseñar organizaciones emprendedoras de todo tipo, en diferentes contextos y entendiendo cómo operarlas exitosamente.

- Ampliar el contexto más allá del mercado. Crear oportunidades para que los participantes (estudiantes) puedan explorar qué significa todo lo anterior para su propio desarrollo profesional y personal.

En este marco, la formación del ingeniero requiere conocer las aptitudes y actitudes emprendedoras de los alumnos como primer paso para la futura configuración de intervenciones pedagógicas destinadas a fomentar una actitud y desarrollar una aptitud emprendedora en ellos.

Parte experimental y metodología

Para poder recabar la información necesaria, se realizaron encuestas online, especialmente diseñadas, optativas y destinadas a todo el alumnado. Cada encuestado respondió qué carrera estaba cursando y el grado de avance de la misma, dividida en segmentos de materias aprobadas. De este modo, pudo saberse si la respuesta que se analizaba provenía de un alumno que

está empezando sus estudios, de uno que está promediando su carrera o de alguien que ya está en la última etapa de la misma. Interesaba sobre todo conocer el grado de motivación de los alumnos por convertirse en emprendedores y el grado en que las oportunidades comerciales de sus emprendimientos estaban relacionadas con los contenidos de la carrera que están cursando.

Una vez obtenida la información mediante las campañas de encuestas, se pasó a la etapa de procesamiento de los datos obtenidos. Se buscó conocer la distribución de las diferentes respuestas en función, principalmente, del tipo de ingeniería estudiada y del grado de avance de la carrera.

En el diseño de la consulta se consideraron algunos elementos objetivos que son determinantes de la aptitud de los alumnos para emprender como:

- la rama de la ingeniería a la que pertenecen,
- el momento en que se encuentran dentro de la carrera, medido por la cantidad de materias aprobadas,
- la situación laboral desde la perspectiva del empleo,
- su conocimiento acerca de temas como el plan de negocios o la protección de la propiedad intelectual, como conocimientos asociados al emprendedorismo.

Y se les consultó acerca de aspectos subjetivos que hacen a su motivación:

- su experiencia en el desarrollo de un emprendimiento propio,
- su voluntad de desarrollar uno a futuro,
- las expectativas después de recibido, en relación al tipo de relación de empleo.

En relación a la experiencia de los alumnos en el desarrollo de un emprendimiento, les preguntamos qué grado de desarrollo ha alcanzado la empresa. La respuesta contaba como opciones los cinco estados con los que usualmente se aborda este aspecto.

Se preguntó también acerca del conocimiento que los alumnos tienen de algunas herramientas básicas utilizadas para llevar adelante un emprendimiento. En este caso se trató del Plan de Negocios y las Búsquedas de Antecedentes en bases de datos de patentes, a modo de pará-

metro genérico que mide el nivel de preparación de los alumnos.

Se elaboró una primera batería de preguntas, y se lanzó una primera campaña en la que se estudiaron las respuestas, tanto desde el punto de vista poblacional (representatividad de la muestra) como de la calidad de las respuestas. Se hicieron algunos ajustes, y se lanzó una segunda campaña, en la que también se sacaron conclusiones, para finalmente elaborar una batería de preguntas que conformaron la campaña definitiva, realizada durante el año 2012. De todas formas, para el posterior análisis se decidió computar, siempre que sea posible, las respuestas obtenidas en las tres campañas.

Las preguntas que finalmente formaron parte de la encuesta definitiva online pueden consultarse en el Anexo al final del Artículo.

Resultados y Discusión

La cantidad de alumnos que respondieron a la encuesta en las tres campañas fue de 5.745

alumnos, según muestra la Tabla 1.

La distribución de los alumnos que respondieron, relativa a la cantidad de materias aprobadas, fue muy similar a la de la población de la facultad.

Aproximadamente la mitad de los alumnos que respondieron estaban cursando la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, y la mayor participación en el otro 50% restante la compartieron alumnos de las carreras de Ingeniería Industrial e Ingeniería Electrónica.

Las características principales de las respuestas obtenidas son las siguientes:

- Entre el 30 y el 35% de los estudiantes no trabaja.
- La mayor parte de los alumnos que no trabaja, se ubica en los primeros años.
- El motivo de no trabajar es que se prioriza el estudio.
- Entre un 30 a un 38% de los alumnos prefiere un empleo en relación de dependencia. Entre un 70 y un 60% señalan su preferencia

Año	Nuevos	Recurrentes 2010	Recurrentes 2011	Recurrentes 2010 y 2011	TOTAL RESPUESTAS
2010	2.738	-	-	-	2.738
2011	431	227	-	-	658
2012	4.211	1.108	263	163	5.745

Tabla 1. Respuestas en las tres campañas

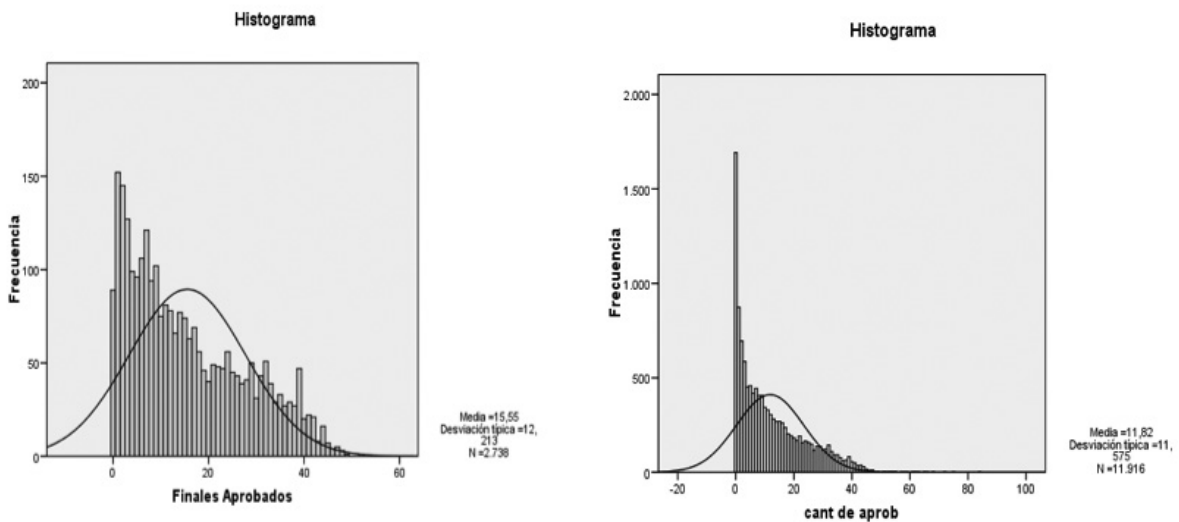


Fig. 1. Comparación cantidad de alumnos vs. materias aprobadas, para el conjunto poblacional y la muestra

por desarrollar un emprendimiento propio.

- Entre un 18% y un 30% declaró estar desarrollando un emprendimiento.
- Más de un 60% de esa población declara que sus emprendimientos alcanzaron los niveles superiores de desarrollo (fabricación y comercialización). Este dato sugiere la existencia de una población objetivo que podría ser abordada directamente para el desarrollo de un programa de trabajo.

Finalmente, y vinculado a la distribución entre las carreras, a pesar de la mayor participación de Ingeniería en Sistemas, los alumnos de Ingeniería Industrial parecen más predisuestos y con mejores aptitudes para desarrollar un emprendimiento propio, en orden a su mayor nivel de preparación y a la cantidad relativa de emprendimientos desarrollados.

Para constatar el grado de representatividad de las muestras, graficamos la función "números de alumnos/cantidad de materias" para el conjunto poblacional y lo comparamos con las muestras. Obtuvimos las formas de

curvas similares de la Figura 1.

La distribución de la cantidad de alumnos que respondieron por cantidad de materias aprobadas, presenta una asimetría hacia la derecha que se observa en la Figura 2. Se trata de una forma piramidal en la que la base, conformada por los alumnos de primer año, se va achicando con el aumento de las materias aprobadas. Muestra que la población de alumnos concentra cerca del 60%, en la franja de 0 a 15 materias aprobadas, y luego se va degradando. Esta forma se repitió en las curvas de todas las campañas realizadas.

En cuanto al género de los alumnos que respondieron la gran mayoría tal como se observa en la Figura 3 fueron varones.

La carrera que concentró la mayor cantidad de alumnos que respondieron fue la de ingeniería en sistemas de la información, con un 42% del total. Le siguió ingeniería industrial con un 17%, y más lejos con un 10% del total de alumnos ingeniería electrónica. El resto de

FINALES APROBADOS

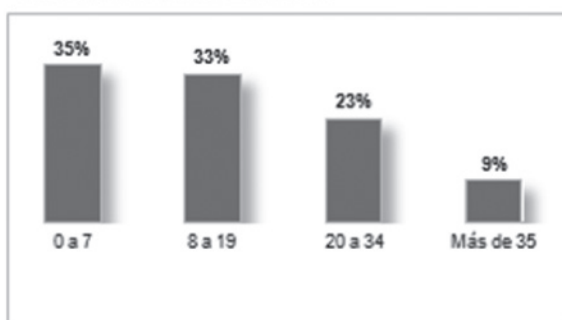


Fig. 2. Cantidad de alumnos que respondieron por materias aprobadas

GÉNERO



Fig. 3. Proporción de géneros en la muestra de alumnos que respondieron

ALUMNOS POR CARRERA

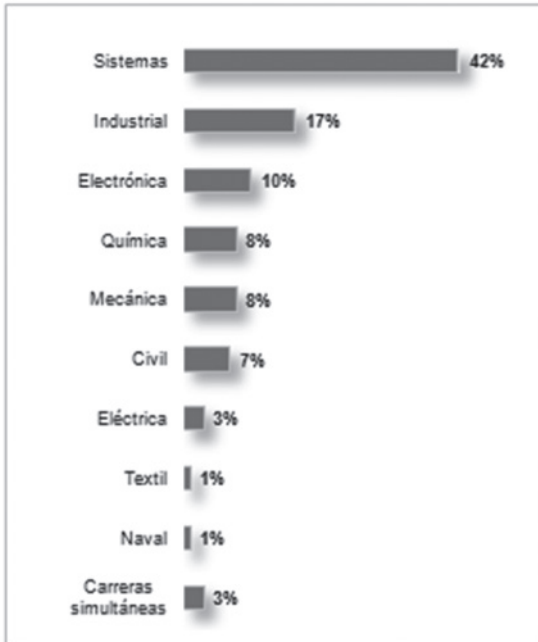


Fig. 4. Proporción de carreras estudiadas en la muestra de alumnos que respondieron

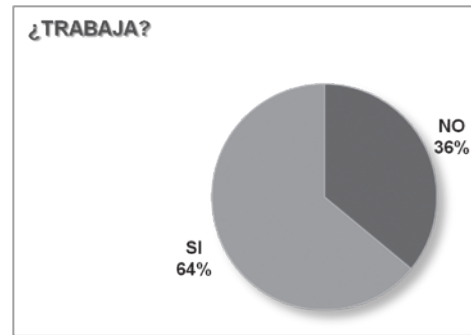


Fig. 5. Proporción de alumnos que estaban trabajando al momento de responder

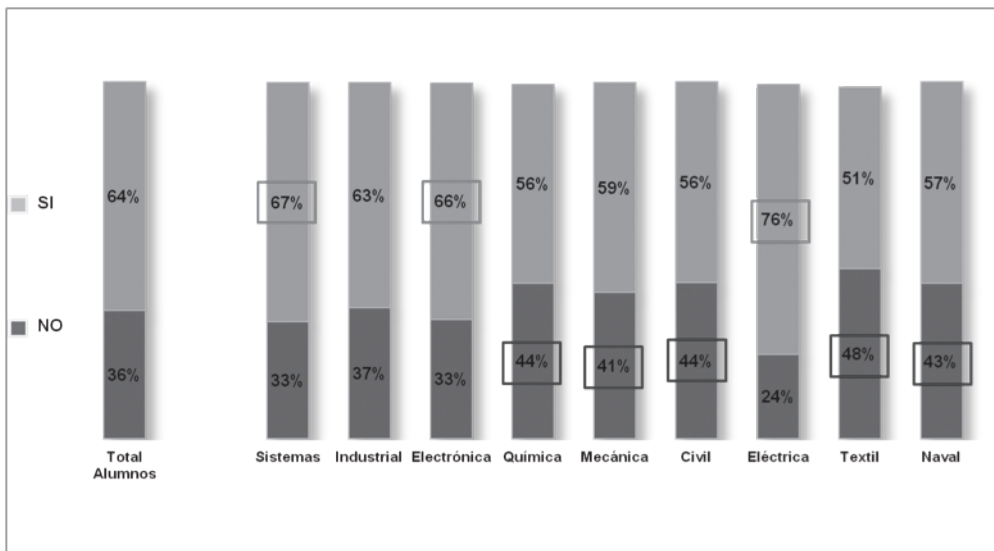


Fig. 6. Proporción de alumnos que estaban trabajando al momento de responder, abierto por carrera

las carreras estuvo por debajo del 10% como se ve en la Figura 4.

En lo relativo a los aspectos laborales de los alumnos que respondieron la encuesta, un 36% de los alumnos que respondieron no estaba empleado (ver Figura 5).

Si consideramos la carrera en la cual cursan, la proporción de alumnos que respondieron que trabajaban vs. los que respondieron que no lo hacían variaba ligeramente. La carrera en la cual la proporción de los que trabajaban fue mayor fue Eléctrica (76%), mientras que la que tuvo menos proporción de ocupados laboralmente fue Química (56%). En todas las carreras siem-

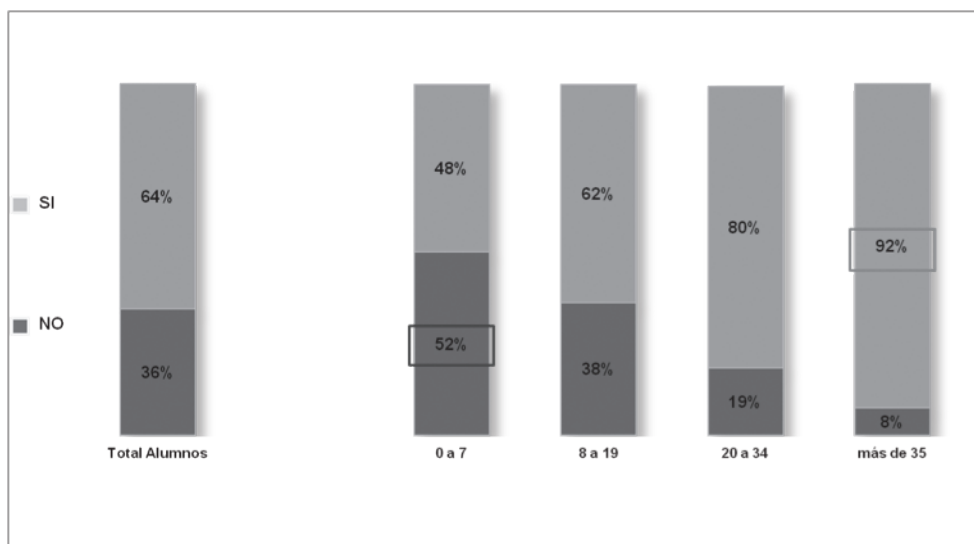


Fig. 7. Proporción de alumnos que estaban trabajando al momento de responder, abierto por avance de carrera

pre fue mayor la proporción de los que trabajaban que los que no lo hacían (ver Figura 6).

También fue interesante ver cómo la proporción de alumnos que ya estaban empleados aumentaba a medida que avanzaban en la carrera (el índice de ocupación laboral crecía a medida que aumentaba el grupo cantidad de materias aprobadas). Muy pocos alumnos con más de 35 materias aprobadas declararon no estar trabajando (ver Figura 7)

Lo observado en la figura anterior puede vincularse a distintos factores. El más relevante, es la exigencia que impone la carrera en los primeros años, que dificulta la posibilidad de

tener un trabajo u otra actividad de importancia en términos de ocupación del tiempo. Cuando se consultó a los alumnos que no estaban empleados sobre los motivos de no estar trabajando, la mayoría (el 76%) respondió que prefería no trabajar para poder estudiar mejor. Sólo un 18% manifestó estar desempleado porque no conseguía trabajo (ver Figura 8).

Entrando ya en la actitud emprendedora de los alumnos, se les consultó acerca de si preferían un empleo en relación de dependencia o trabajar en un emprendimiento propio. Estos últimos alcanzaron el 46%, mientras que un 38% prefirieron un empleo en relación de dependencia (ver Figura 9).

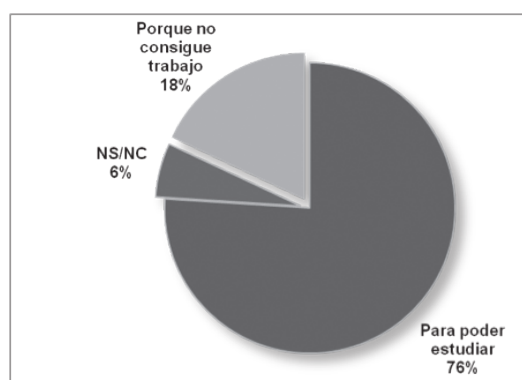


Fig. 8. Motivos de no estar trabajando

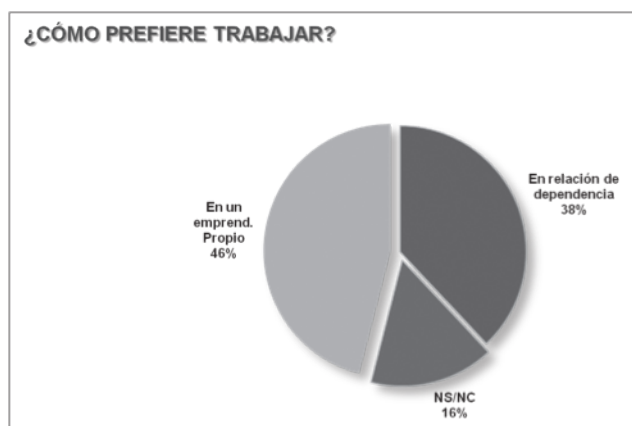


Fig. 9. Preferencia empleado vs. emprendedor

Las carreras en donde la preferencia por el empleo en relación de dependencia fue mayor fueron Sistemas, Química, y Eléctrica. En cambio las carreras en donde fue mayor la preferencia por un emprendimiento propio fueron Industrial, Textil, Civil, y Electrónica. El resto de las carreras mantuvieron una preferencia muy similar a la media. En Química y Naval el porcentaje de NS/NC (que no tenían preferencia por alguna de las alternativas) fue un poco mayor que la media de 16% (ver Figura 10)

Es notable que tomando como variable el grado de avance en la carrera, la proporción de alumnos que prefieren ser empleados y los que desean emprender varió muy poco, como puede apreciarse en la Figura 11.

Cuando se les consultó sobre la posibilidad de

que en el futuro elijan desarrollar un emprendimiento propio, una gran mayoría respondió afirmativamente. Es muy interesante comparar estas respuestas con aquellas en las que se consultaba por el pasado o el presente, respecto de si habían desarrollado o estaban desarrollando un emprendimiento al momento de la encuesta (ver Figura 12).

Si nos limitamos a las respuestas relativas al momento de la encuesta, estaríamos tomado una "foto" del porcentaje de alumnos que estaban desarrollando un emprendimiento propio, que era del 18% (ver Figura 13).

Como uno de los objetivos del trabajo de investigación era el de proporcionar una base para el diseño de posibles intervenciones pedagógicas, era de especial interés conocer la apertura

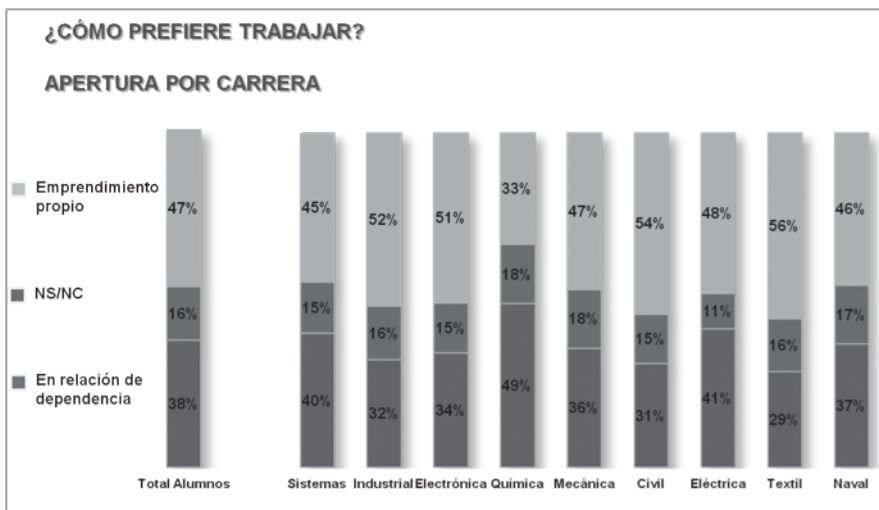


Fig. 10. Preferencia empleado vs. emprendedor, apertura por carrera

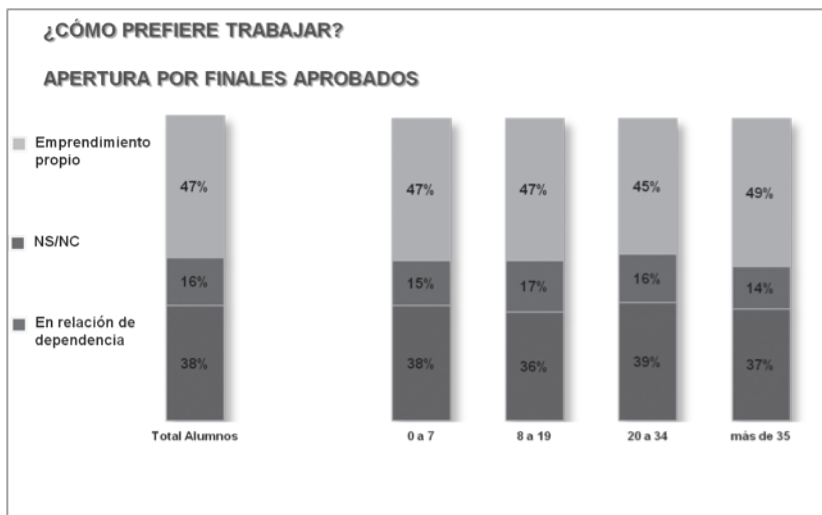


Fig. 11. Preferencia empleado vs. emprendedor, apertura por avance de carrera

por carreras de la proporción de alumnos con emprendimientos propios (ver Figura 14).

Podemos ver que las carreras en las que hubo mayor proporción de alumnos con emprendimientos propios fueron Electrónica, Textil y Sistemas. En estas carreras la proporción de alumnos con emprendimiento superaba el promedio del 18%. En cada caso, las respuestas fueron: Electrónica (22%), Textil (22%), y Sistemas (19%).

El resto de las carreras se encontro por debajo

del promedio. La carrera con menor proporción de alumnos es Química, en la que sólo un 10% de los alumnos declararon estar desarrollando un emprendimiento propio.

En relación al grado de avance de aquellos emprendimientos que estaban siendo llevados a cabo por los alumnos al momento de la encuesta, teníamos especial interés en conocer hasta dónde habían llegado con los mismos. Para ello, definimos cinco grados de avance, fácilmente comprensibles por los alumnos, como puede verse en la Tabla 2.

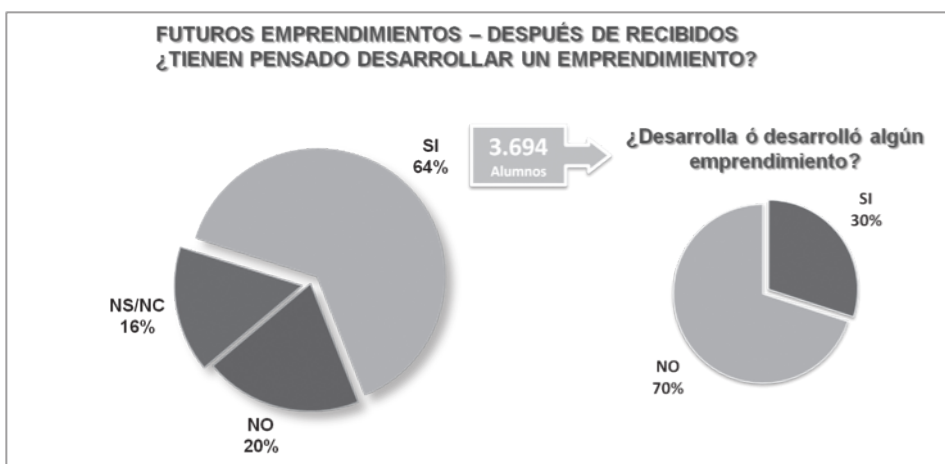


Fig. 12. Pasado, presente y futuro de la actividad emprendedora de los alumnos

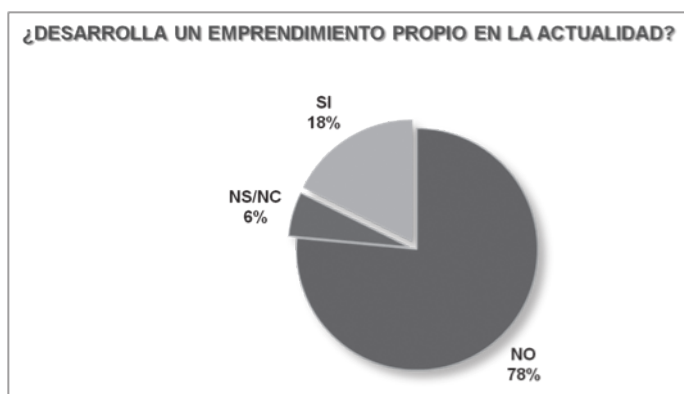


Fig. 13. Presente de la actividad emprendedora de los alumnos

Grado	Avance alcanzado
1	Concepción de la Idea
2	Planificación del Proyecto
3	Desarrollo de Prototipos, Planos, etc.
4	Producción del Producto o Servicio
5	Comercialización del Producto o Servicio

Tabla 2. Grados de avance de un Emprendimiento

En la Figura 15 puede verse que, pese a que el Grado 1 fue el que más fue respondido, hubo también una alta proporción de emprendimientos en Grado 5.

Conclusiones

La consulta realizada revela algunos aspectos de especial interés. En primer lugar, la existencia de una comunidad de más de mil quinientos alumnos que declararon tener una experiencia en materia de emprendimiento, ya sea en el pasado, en la actualidad o en ambos momentos.

Para este grupo, que podemos denominar "emprendedores", sería posible determinar acciones con alto grado de especificidad.

A su vez, entre estos 1.539 emprendedores detectados, se reconocen diferentes subgrupos:

- Recien iniciados: 609
- Con experiencia previa: 410
- Ex-emprendedores: 517 (los que tuvieron y hoy no están desarrollando emprendimiento alguno).

Cada subgrupo tiene necesidades específicas y por ende sería conveniente diseñar intervenciones diferenciadas.

En segundo lugar, es importante considerar el porcentaje de "ex-emprendedores". Si bien no se conoce el tiempo que ha transcurrido desde que dejaron de desarrollar un emprendimiento, por las edades podría suponerse que están en

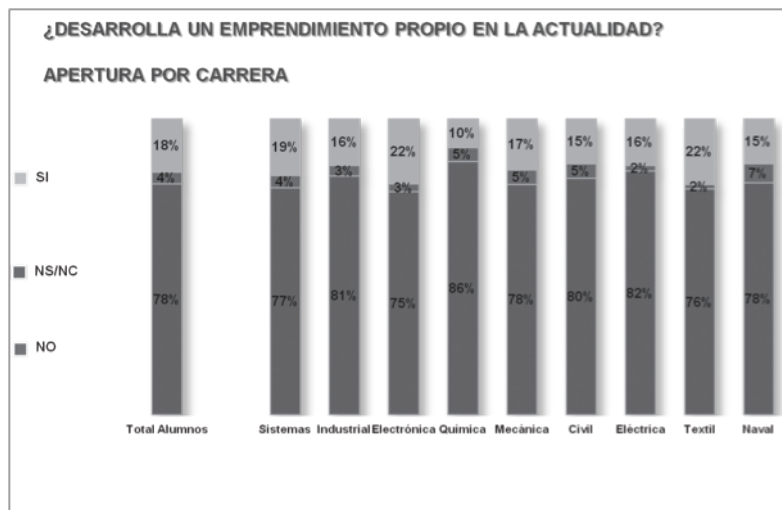


Fig. 14. Apertura por carrera de la actividad emprendedora de los alumnos

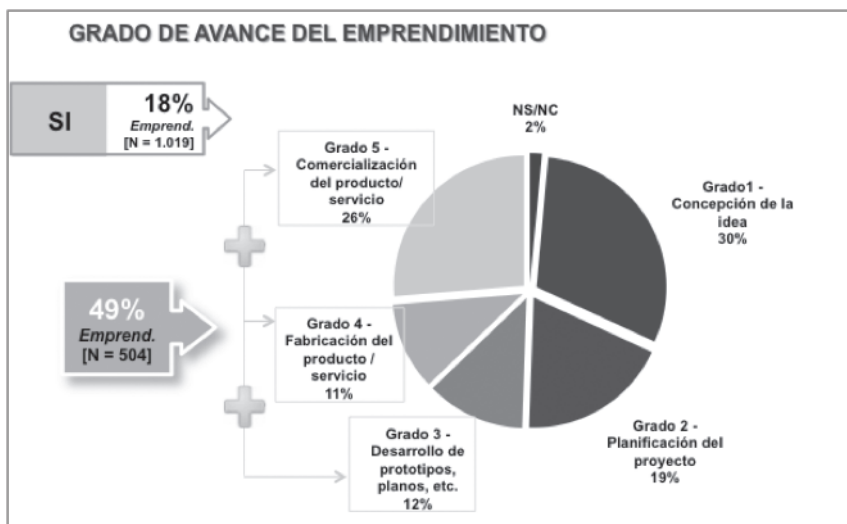


Fig. 15. Grado de avance de los emprendimientos

una fase de transición, quizá debida a la propia exigencia del estudio. Con estos emprendedores, las intervenciones podrían estar dirigidas a apoyarlos e incentivarlos para lograr que retomen el sendero, siempre que exista en ellos la motivación y la voluntad de hacerlo.

En tercer lugar, pareciera existir poca incidencia de los contenidos vistos en la universidad en la temática abordada en los emprendimientos. La mayor fuente de inspiración de los alumnos son los amigos o factores externos a la universidad. Desde el punto de vista schumpeteriano, esta divergencia observada no estaría contribuyendo al contenido innovador de los emprendimientos, los cuales no se beneficiarían en forma directa de los conocimientos tecnológicos de los emprendedores. Esto indicaría la necesidad de diseñar las intervenciones para que en el futuro la carrera pueda ser un factor de inspiración para los alumnos, a la hora de pensar en llevar adelante un emprendimiento. Esto permitiría, de acuerdo a la teoría schumpeteriana vista, fortalecer la "sinergia evolutiva entre el individuo, la sociedad y las instituciones que la estructuran".

En cuarto y último lugar, aparece el hecho de que un 64% de los alumnos que no tienen aún experiencia como emprendedores, manifiestan voluntad de desarrollar un emprendimiento en el futuro (ver Figura 12). Para este subgrupo de alumnos sería conveniente diseñar intervenciones especialmente diseñadas para dotarlos de aptitudes que hagan que su entrada a la actividad emprendedora tenga una alta probabilidad de ser exitosa.

Las distintas intervenciones mencionadas, para cada subgrupo identificado, se deberían diseñar dentro de un marco formal, con participación conjunta y sinérgica del área académica, de vinculación y transferencia y los departamentos de carreras de grado, ya que como se mencionó al describir el marco teórico, "los factores institucionales resultan, entonces, decisivos en la determinación de los procesos de aprendizaje y de desarrollo de las innovaciones".

Agradecimientos

al Ing. Raúl Sack, Director del Departamento de Ingeniería Industrial, UTN, FRBA.

Referencias

- GIBB, A., (2009) Towards the Entrepreneurial University, NCGE, National Council for Graduate Entrepreneurship, Birmingham UK
- OCDE, (2009) Measuring Entrepreneurship. A collection of indicators, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
- SCHUMPETER, J., (1967) Teoría del desenvolvimiento económico. Una investigación sobre ganancias, capital, crédito, interés y ciclo económico, Fondo de Cultura Económica, México, Buenos Aires. (Primera edición 1911)
- SERIDA, J.; NAKAMATSU, K. y UEHARAM, L., (2010) Global Entrepreneurship Monitor, Perú, Lima, Universidad ESAN
- SIERRA, P. (2011) El Emprendedorismo Innovador en la Argentina. Boletín informativo Techint. Vol. 335.2011, p. 93-108
- UNCTAD, (2004) Entrepreneurship And Economic Development: the Empretec Showcase, Geneva

Revisión de los métodos en el cálculo del costo de deuda como componente de la tasa de descuento en proyectos de inversión en pequeñas y medianas empresas

Carlos Emilio Martínez¹, Juan Santiago Ledesma¹, Alfredo Octavio Russo^{1,2}

¹ Universidad Nacional de Quilmes, Departamento de Economía y Administración, Roque Sáenz Peña 352, (B1876BXD) Quilmes, Provincia de Buenos Aires, Argentina

² Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación productiva (SECTIP), Medrano 951, (C1179AAQ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

aorusso@gmail.com

Recibido el 20 de diciembre de 2014, aprobado el 7 de febrero de 2015

Resumen

Este trabajo releva la literatura sobre el cálculo del costo de deuda de una pequeña o mediana empresa (PyMEs), no cotizante en Bolsa, identificando tres metodologías. La primera consiste en el cálculo del costo promedio ponderado de deuda, que relaciona los costos de deuda de contrato, y su peso relativo en el total de la deuda. La segunda consiste en un modelo enfocado en el análisis tanto de los flujos y plazos, como de los gastos asociados a los contratos, para calcular el costo financiero total. Por último, el tercer modelo parte de una discriminación y ponderación de los costos de deuda particulares, incorporando además el costo de los alquileres de activos fijos que contrata la empresa. El análisis indica la importancia que tiene para las pequeñas o medianas empresas el correcto análisis y evaluación de la estructura de financiamiento de sus proyectos, debido a que las condiciones contractuales y el entorno tienen un rol crítico en la determinación del costo financiero total.

PALABRAS CLAVE: TASA DE DESCUENTO - COSTO DE DEUDA - COSTO PROMEDIO PONDERADO DE CAPITAL - PROYECTOS DE INVERSIÓN - PYMES

Abstract

This work relieves the literature on the calculation of the cost of debt of a small or medium enterprises (SMEs), which does not operate on the stock market, identifying three methodologies. The first consists in calculating the weighted average cost of debt, which debt related costs established in the contract, and their relative weight in the total debt. The second is a model focused on the analysis of both flows and deadlines, as the costs associated with contracts, to calculate the total financial cost. Finally, the third model discriminates and weighing of the costs of private debt, also incorporating the cost of leasing assets that the company hires. The analysis indicates the importance for small and medium businesses, the correct analysis and evaluation of the structure of financing their projects, because the contractual conditions and environment play a critical role in determining the total financial cost.

KEYWORDS: DISCOUNT RATE - COST OF DEBT - WEIGHTED AVERAGE COST OF CAPITAL - INVESTMENT PROJECTS - SMES

Introducción

La determinación de la tasa de descuento en la evaluación de un proyecto de inversión es uno de los mayores desafíos en la temática de las finanzas. Como tasa de descuento es frecuente encontrar el empleo del costo de oportunidad del dinero, entendido como el rendimiento que se deja de ganar en una determinada inversión "A", por aplicar el dinero en una determinada alternativa "B". También suele utilizarse el costo de capital, que surge de la sumatoria del costo que se paga por el dinero de Terceros, más el aporte propio de los dueños del proyecto. Puede verse este planteo en forma esquemática en la Figura 1.

La observación demuestra que las pequeñas o medianas empresas suelen financiar sus pro-

yectos mediante una combinación de recursos propios ó capital propio, y fondos requeridos a Terceros, con su correspondiente costo. Debido a esta práctica, el método del Costo Promedio Ponderado de Capital (CPPC)¹ se ha convertido en el de mayor utilización para calcular la tasa de descuento de los flujos de un proyecto². El CPPC tiene como expresión matemática general, la siguiente:

$$CPPC = \left(\frac{E}{E+D}\right) \cdot K_e + \left(\frac{D}{E+D}\right) \cdot (1-T) \cdot K_d$$

donde:

K_e → Costo de los recursos propios ó Costo de capital propio

K_d → Costo de Terceros, Costo de los pasivos ó Costo de las deudas de la empresa

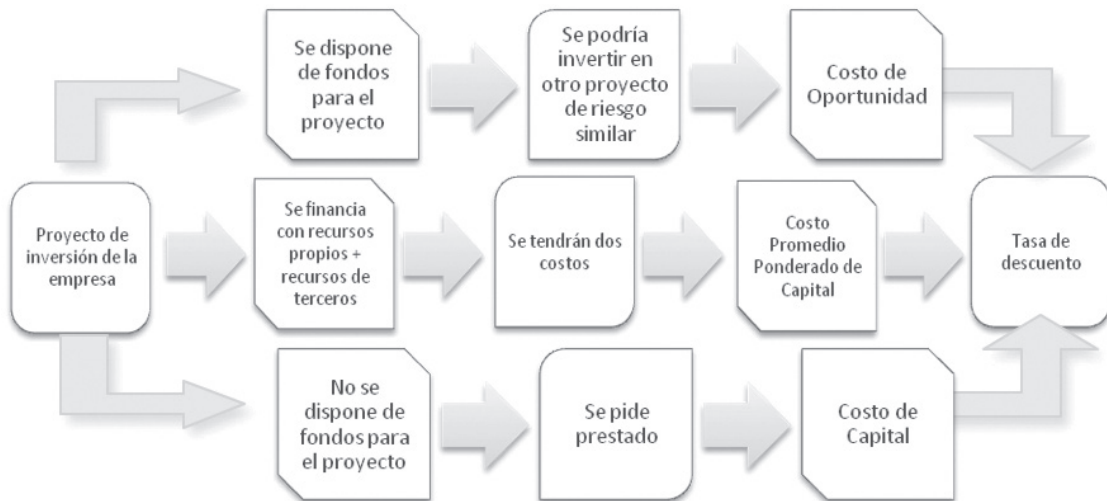


Fig. 1. Determinación de la tasa de descuento para un proyecto

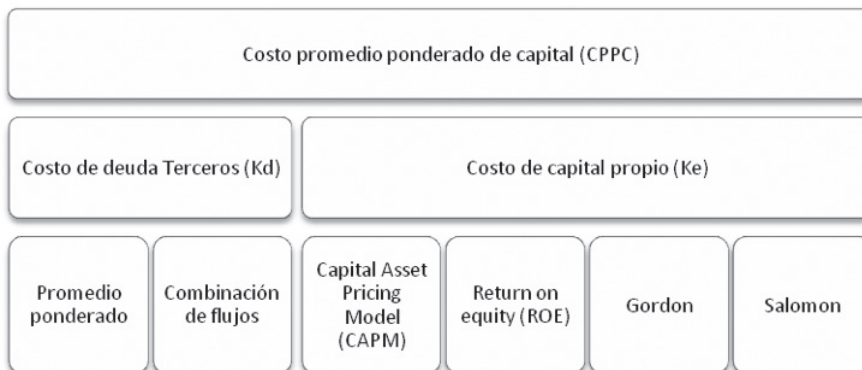


Fig. 2. Componentes del CPPC

¹ En inglés "Weighted Average Cost of Capital (WACC)"

² Vale aclarar que descuenta el flujo puro del proyecto, esto es, sin contar los flujos del financiamiento.

$E \rightarrow$ Capital propio³

$D \rightarrow$ Capital de Terceros ó Deuda⁴

$T \rightarrow$ Tasa de Impuesto a las Ganancias⁵

En la Figura 2 pueden apreciarse los modelos más conocidos para estimar los diferentes componentes del método de Costo promedio ponderado de capital (CPPC).

Las Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs) cumplen un papel preponderante en el desarrollo de las economías. Estas son el motor del crecimiento y constituyen una importante fuente de empleo. En este contexto, el acceso a diferentes tipos de recursos para financiar sus proyectos juega un papel clave en su crecimiento y desarrollo.

El presente trabajo pretende plantear diferentes aspectos relacionados con el financiamiento y, en particular, el objetivo principal de poder determinar el costo real de la deuda de una empresa, que será una de las variables más importantes en la determinación de la tasa de descuento a utilizar en la evaluación de diferentes proyectos de inversión a encarar por las compañías. Para esto analizaremos las fuentes más usuales de financiamiento y, en este sentido, vale puntualizar que muchas veces, las fuentes de financiamiento disponibles en el mercado se encarecen a tal punto, que pueden llegar a imposibilitar el desarrollo de los proyectos de inversión de una pequeña o mediana empresa.

La provisión de financiamiento efectivo y eficiente es un factor clave para asegurar que las pequeñas o medianas empresas puedan expandirse y ser más competitivas. Existe evidencia de una asociación positiva entre el financiamiento y el desempeño de la empresa, y por lo tanto, no utilizar financiación externa o de Terceros, dificulta el crecimiento de una compañía.

Según el origen de las fuentes de financiación, los recursos financieros se pueden agrupar en dos grandes categorías:

- Financiación interna, propia o autofinanciación: está integrada por aquellos recursos financieros que la empresa genera por sí misma, reinvirtiéndose las utilidades, no teniendo ne-

cesidad de acudir al mercado financiero.

- Financiación externa o de Terceros: formada por aquellos recursos financieros que una empresa cotizante en Bolsa puede llegar a obtener de Terceros, y esto lo puede realizar:

- Emitiendo Acciones (ampliando capital, si la empresa cotiza en Bolsa);

- Colocando Obligaciones Negociables (ON, emisión de deuda de la empresa, si la misma cotiza en Bolsa);

- Acudiendo al mercado de crédito formal para obtener préstamos a plazo (con entidades financieras o Bancos, en especial cuando la empresa no cotiza en Bolsa, como es en general en el caso de las PyMEs Argentinas).

En este marco, se pueden distinguir dos mercados:

- Mercado de dinero: en este mercado se conciertan operaciones que comprenden principalmente a entidades financieras o Bancos. Este mercado brinda a las PyMEs, la mayor parte del crédito financiero, ya que las restricciones al ingreso son algo menores que en el mercado de capitales.

- Mercado de capitales: los instrumentos para financiarse que se le ofrecen a las pequeñas o medianas empresas presentan una mayor dificultad en términos de acceso y costos, pero al mismo tiempo, pueden llegar a conseguir un formato de financiación adecuado o adaptado a las disponibilidades de la empresa (se pueden llegar a calzar los flujos generados por el proyecto, con los flujos de financiamiento), consiguiéndose además una menor tasa de financiamiento, con un mayor plazo.

La evidencia provista por instituciones como la Fundación de Investigaciones Económicas Latinoamericanas (FIEL) determina que las principales fuentes de financiamiento de una pequeña o mediana empresa en Argentina, y en orden de importancia son:

- 1) La reinversión de utilidades;
- 2) El financiamiento con proveedores;
- 3) Los créditos de bancos;
- 4) El mercado de capitales.

En este contexto, cabe expresar que una de las decisiones a la que se debe enfrentar cualquier

³ En inglés "Equity".

⁴ En inglés "Debt".

⁵ En inglés "Tax".

pequeña o mediana empresa, consiste en establecer un procedimiento de análisis para conseguir los fondos necesarios para financiar diversos proyectos. En el marco de esta situación, la misma deberá establecer una política de financiamiento, definiendo la cantidad a emplear tanto de deuda, como de recursos propios, para financiar las necesidades de inversión presentes y futuras, que puntualmente se aplicarán tanto en inversiones en activos fijos, como en capital de trabajo, entre otros.

En la primera parte del trabajo se explicará el concepto de apalancamiento financiero como punto de partida para las decisiones de financiamiento con fondos de Terceros que realiza la empresa.

En la segunda parte se presentan tres metodologías para calcular el costo de la deuda de la empresa ante Terceros. La primera consiste en el cálculo del costo promedio ponderado de deuda, que relaciona los costos de deuda de contrato, y su peso relativo en el total de la deuda. La segunda consiste en un modelo enfocado en el análisis tanto los flujos y plazos, como los gastos asociados a los contratos, para calcular el costo financiero total. Por último, el tercer modelo parte de una discriminación y ponderación de los costos de deuda particulares, incorporando además el costo de los alquileres de activos fijos que puede llegar a contratar una pequeña o mediana empresa.

Hacia el final se presentarán las conclusiones, en las cuales se comprueba la importancia de considerar atentamente las particularidades de cada una fuentes externas de financiamiento de la empresa a la hora de calcular su costo de deuda, en el marco de la determinación de la tasa de descuento de los flujos de fondos proyectados de los proyectos de inversión que se encuentre evaluando.

Desarrollo

Apalancamiento financiero

Como una primera aproximación al tema, y para intentar dar respuesta al interrogante si es conveniente o es riesgoso tomar deuda para financiar proyectos, es preciso entender primero en qué consiste el "Apalancamiento financiero". Se trata del efecto que se produce en la rentabilidad de una empresa como consecuencia de la utilización de deuda en su

estructura de capital.

Vale aclarar que la rentabilidad de una empresa no está referida solamente a un resultado contable de beneficio o pérdida, sino que está en relación directa con la inversión, y se referencia en general a través de ratios tales como el ROE (rendimiento sobre el capital contable o *equity*), o el ROA (rendimiento sobre los activos totales), o el RE (Razón de endeudamiento):

$$ROE = \frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Patrimonio total}}$$

$$ROA = \frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Activo total}}$$

Respecto del Ratio o Razón de endeudamiento (RE) puede decirse que:

$$RE = \frac{\text{Pasivo corto plazo} + \text{Pasivo largo plazo}}{\text{Activo total}}$$

- Puede definirse que el "óptimo" podría establecerse entre $0,40 < RE < 0,60$
- Si $RE > 0,60 \rightarrow$ la empresa estaría perdiendo autonomía financiera frente a Terceros.
- Si $RE < 0,40 \rightarrow$ podría ocurrir que la empresa tenga un exceso de capitales propios.

Complementando el criterio anterior, se puede decir que manteniendo una relación "óptima" con un $RE=0,60$, por cada unidad monetaria que reciba la empresa, 0,60 unidades monetarias son financiadas por deuda de corto plazo y largo plazo, mientras que 0,40 unidades monetarias son financiadas por el capital propio (otra manera posible de interpretación, puede ser que el 60% del total de activos, ha sido financiado por los acreedores tanto de corto, como de largo plazo).

Incrementar la cantidad de deuda en la estructura de financiamiento de una pequeña o mediana empresa, o lo que es lo mismo, incrementar el "Apalancamiento financiero", tiene un efecto sobre la rentabilidad que depende del costo financiero de esa deuda. En este sentido, se puede decir que un mayor empleo de deuda generará un incremento en la rentabilidad sobre los recursos propios, esto siempre y cuando el costo de la deuda sea menor que la rentabilidad del negocio sobre los activos netos (Capital de trabajo + Activos fijos). El incremento en la rentabilidad se producirá porque estos nuevos fondos, en verdad, deberían ser empleados en nuevos proyectos de

inversión que proporcionen valor a la empresa.

En consecuencia, también se podría plantear el interrogante de si el costo de la deuda es el único factor determinante para establecer una política de financiación correcta, tomando como referencia la rentabilidad del proyecto, y en este sentido la respuesta es negativa, ya que tener una mayor cantidad de deuda lleva consigo además un nivel de riesgo adicional, que puede conducir a resultados negativos para la empresa desde el punto de vista financiero, pues el conjunto de los distintos componentes del sistema pueden llegar a percibir mayores riesgos en el cumplimiento de los repagos de las obligaciones contraídas por la compañía. Debe tenerse especial consideración en los flujos que generan los proyectos y los flujos de financiación, pues no necesariamente un buen resultado económico resulta en una adecuada situación financiera.

El uso apropiado del endeudamiento es una vía para conseguir mejorar la rentabilidad sobre los recursos propios de la empresa y, en consecuencia, generar valor para los dueños, pero la clave estará en gestionar correctamente la cantidad de deuda adquirida en base al proyecto o negocio, evaluando su evolución futura, y calzando los flujos de forma tal de no tener problemas de disponibilidad o liquidez futuros.

Por lo tanto, se deberán tomar decisiones sobre aspectos tales como:

- Tipo de deuda (Préstamos, Leasing, etc.);
- Tipo de Tasa de interés (fija o variable);
- Moneda del endeudamiento (moneda nacional o extranjera);
- Amortización de capital;
- Plazos.

Vale mencionar como apartado, que una de las formas de financiarse de las empresas es tomando dinero mediante la emisión de bonos u obligaciones negociables (ON) en el mercado de capitales, si las empresas cotizan en Bolsa, donde la tasa de interés de estos bonos (Tasa cupón) es el rendimiento que la empresa promete a los inversores que compren estos bonos. En consecuencia, por aproximación puede decirse que los inversores pueden analizar y tomar como referencia este costo de deuda como una medida de riesgo, cuando evalúen realizar una inversión.

Determinación del costo de deuda

Modelo 1

Cálculo según el costo promedio ponderado de deuda

El costo de la deuda se refiere a la tasa de interés efectiva que una empresa paga por esa deuda que pide prestada. En general, toda la literatura sobre este punto propone un cálculo ponderado de las diferentes fuentes de Terceros, obteniéndose el Costo Promedio Ponderado de la deuda de la empresa, antes o después de impuestos.

El procedimiento se basa en multiplicar el costo del dinero en Terceros, por la proporción que tiene en el total de los aportes obtenidos por la empresa. El costo de la deuda total representa la tasa de interés que pagaría la empresa si todas sus fuentes de deuda se remplazaran por una equivalente; que se representa por la variable K_d .

En consecuencia, el costo de la deuda se calcula obteniendo el promedio ponderado de todas las deudas o pasivos que toma la empresa:

$$K_d = \frac{(\sum_{j=1}^n D_j \cdot K_j)}{\sum_{j=1}^n D_j}$$

donde:

K_d → Costo de la deuda de la empresa (% anual)

D_j → Monto del Pasivo j en \$

K_j → Costo del Pasivo j (% anual)

Algunas consideraciones sobre este Modelo que podemos realizar son:

- Para D_j se utiliza normalmente el promedio de los últimos dos períodos del Balance.

- Si algún K_j se conoce con certeza, se puede tomar el K_j promedio de las demás deudas, siempre que su monto no supere el 20% del pasivo total.

- Se utilizan las cifras del Balance para los montos y las cifras de Tesorería para los costos de deuda. Este Modelo considera que, aunque el verdadero cálculo exigiría cifras de mercado, éstas son muy cercanas a las del Balance y por lo tanto, la forma de calcular K_d resulta independiente de las fuentes de información.

- Gastos iniciales de la operación
- Gastos de cancelación

En el presente Modelo la cuota pura es constante, las amortizaciones de capital crecientes y los intereses decrecientes debido a que se calculan sobre el saldo adeudado.

$$MP = C \cdot \left[\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \cdot i} \right]$$

$$C = \frac{MP}{\left[\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \cdot i} \right]}$$

donde:

MP → Monto del préstamo tomado por la empresa

C → Cuota pura a pagar por la empresa

Finalmente, para determinar la cuota final hay que adicionar los gastos, el seguro y el IVA, y calculada la TIR de este flujo total, se puede llegar a observar que el CFT es bastante mayor a TNA contratada con la entidad financiera.

Lo que queda demostrado es que el CFT va a depender de lo que se haya pactado en el contrato con la entidad financiera, y la única forma de que el CFT permanezca constante en los sistemas que calculan los intereses sobre el saldo adeudado (francés, alemán y americano), es

que no exista ningún tipo de gasto adicional. En consecuencia, no deberían observarse gastos administrativos fijos ni variables, seguros, impuestos ni gastos de cancelación anticipada, y esto difícilmente ocurre en la realidad.

Modelo 3

Cálculo según los flujos de diversas fuentes de financiación

Según Vélez Pareja (2009), para determinar el costo de la deuda de una empresa se debe tener en cuenta el flujo de pagos de cada una de las fuentes de financiación de terceros, ya sea cuando se trata de bonos, o de préstamos, o de instrumentos similares, y combinar los flujos.

En la Tabla 2 puede observarse una comparación entre el cálculo del costo de deuda de una empresa según el método del promedio ponderado sin tener en cuenta los flujos del financiamiento (Modelo 1), con otro esquema en que sí se está teniendo en cuenta los flujos:

- Financiamiento 1: Se devuelve el capital e intereses en el Año 1.
- Financiamiento 2: Se devuelve el capital e intereses en el Año 10.
- Financiamiento 3: Se devuelven capital e intereses en 5 cuotas fijas.

	Monto del proyecto				\$500.000,00
	Participación	Monto	Plazo en años	Tasa de interés	Ponderación
Financiamiento 1	0,400	\$200.000,00	1	12,00%	0,0480
Financiamiento 2	0,300	\$150.000,00	10	9,50%	0,0285
Financiamiento 3	0,300	\$150.000,00	5	10,00%	0,0300
	1	\$500.000,00			10,65%
	Año	Financiamiento 1	Financiamiento 2	Financiamiento 3	Financiamiento o total
	0	\$200.000,00	\$150.000,00	\$150.000,00	\$500.000,00
	1	-\$224.000,00	-	-\$39.569,62	-\$263.569,62
	2	-	-	-\$39.569,62	-\$39.569,62
	3	-	-	-\$39.569,62	-\$39.569,62
	4	-	-	-\$39.569,62	-\$39.569,62
	5	-	-	-\$39.569,62	-\$39.569,62
	6	-	-	-	-
	7	-	-	-	-
	8	-	-	-	-
	9	-	-	-	-
	10	-	-\$1.792.500,00	-	-
	TIR	12,00%	28,16%	10,00%	23,90%

Tabla 2. Comparación entre el cálculo del costo de deuda

Combinando los flujos de fondos en uno solo, se puede observar que el CFT es mucho mayor al calculado como costo promedio ponderado, en donde no se tuvo en cuenta los flujos del financiamiento.

En consecuencia, el costo de la deuda no debería calcularse como un promedio ponderado, sino teniendo en cuenta lo que se puede llamar "Horizonte de planeamiento de la empresa", teniendo en cuenta todos los pasivos con un esquema de pagos bien estructurado.

Continuando con el análisis y para tener un adecuado cálculo del costo de la deuda promedio, se deberían tener también en cuenta otros instrumentos no financieros, como por ejemplo suelen ser el alquiler de determinados activos fijos, muy común en estos tiempos en PyMEs argentinas.

De modo tal que se puede calcular el costo financiero de alquilar un activo, teniendo en cuenta el valor comercial del activo hoy, el canon que se paga, y el valor comercial estimado del activo al final del período pactado.

En este sentido, la forma más adecuada de calcular el promedio del costo de la deuda y los alquileres de activos fijos (que en consideración del autor podrían llamarse "Cuasideuda"), es la de combinar los flujos de las diversas formas de financiación y alquileres.

En la Tabla 3 puede observarse la combinación de flujos de deudas de la empresa con flujos de "Cuasideudas".

En consecuencia, se puede proponer como cálculo de la Tasa de deuda de la empresa (K_d), la siguiente forma:

$$K_d = \frac{(i_a \cdot VCA) + (i_p \cdot P)}{(VCA + P)}$$

donde:

K_d → Costo de la deuda anual de la empresa, antes de impuestos

i_a → Costo anual del alquiler o canon de los activos fijos alquilados

i_p → Tasa de interés resultante de calcular el costo de todos los pasivos combinando todos sus flujos

Valor comercial del activo	\$ 800.000,00
Canon	\$ 125.000,00
Plazo en años	10
Valor residual	\$ 100.000,00



Año	Financiamiento 1	Financiamiento 2	Financiamiento 3	Alquiler activos	Financiamiento total
0	\$ 200.000,00	\$ 150.000,00	\$ 150.000,00	\$ 800.000,00	\$ 1.300.000,00
1	-\$ 224.000,00	-	-\$ 39.569,62	-\$ 125.000,00	-\$ 388.569,62
2	-	-	-\$ 39.569,62	-\$ 125.000,00	-\$ 164.569,62
3	-	-	-\$ 39.569,62	-\$ 125.000,00	-\$ 164.569,62
4	-	-	-\$ 39.569,62	-\$ 125.000,00	-\$ 164.569,62
5	-	-	-\$ 39.569,62	-\$ 125.000,00	-\$ 164.569,62
6	-	-	-	-\$ 125.000,00	-\$ 125.000,00
7	-	-	-	-\$ 125.000,00	-\$ 125.000,00
8	-	-	-	-\$ 125.000,00	-\$ 125.000,00
9	-	-	-	-\$ 125.000,00	-\$ 125.000,00
10	-	-\$ 1.792.500,00	-	-\$ 125.000,00	-\$ 2.017.500,00
TIR	12,00%	28,16%	10,00%	10,18%	16,90%

Tabla 3. Combinación de flujos de deudas de la empresa con flujos de "Cuasideudas"

P → Total de los pasivos para los que se calculó i_p
 VCA → Valor comercial de los activos fijos alquilados

Vale destacar que se deberán considerar los pasivos que se esperan adquirir dentro del "horizonte de planeamiento de la inversión" que se está analizando.

Sobre este punto, vale la pena remarcar que sólo deben incluirse los pasivos financieros que implican pago de intereses, y en particular, los créditos con instituciones financieras o el costo de la emisión de bonos colocados en el mercado de capitales, es decir, la deuda de largo plazo. En cuanto a los demás pasivos (que también se los denomina "Pasivos espontáneos") como por ejemplo son las cuentas por pagar (deudas con Proveedores que no implican flujos explícitos de intereses), no deberán ser incluidos en el cálculo, pues el argumento para sustentar esto es que los intereses asociados a estos pasivos ya están cobrados en el valor de los bienes que se están comercializando.

Por otra parte, para calcular el costo de la deuda después de impuestos (T = Impuesto a las Ganancias), se deberá tener en cuenta que cualquier gasto "G" deducible de Impuestos, se convierte en $[G \times (1-T)]$ después de impuestos, generando en consecuencia lo que se denomina un "Ahorro fiscal".

Entonces, para el cálculo del costo de la deuda después de impuestos, la fórmula se puede modificar de la siguiente manera:

$$K_d = \frac{(i_{ad} \cdot VCA) + (i_{pd} \cdot P)}{(VCA + P)}$$

donde:

K_d → Costo anual de la deuda después de impuestos.

i_{ad} → Costo financiero anual del alquiler de activos fijos después de impuestos⁶

i_{pd} → Costo del pasivo después de impuestos, donde los pagos de intereses serán $[I \times (1-T)]$

Debe observarse que esta fórmula tiene sentido cuando la empresa produce utilidades, y está sujeta a Impuestos a las Ganancias. En consecuencia, puede afirmarse que cuando se

calcula el Costo de la deuda de una empresa combinando los flujos, es muy importante tener en cuenta el "Ahorro fiscal" por pago de intereses y alquileres de Activos fijos, obteniéndose así un costo de la deuda después de impuestos aún menor.

Vale destacar que la expresión a que hemos arribado para el cálculo del costo de la deuda de una pequeña o mediana empresa, es una forma aproximada, pues supone que los impuestos se pagan el mismo año en que se causan, cuando en la realidad, esto ocurre al año siguiente. Aún así, debe considerarse también que en muchas ocasiones los impuestos se pagan en forma anticipada, por efecto de la retención o adelanto de Impuesto a las Ganancias, pero considerar que los Impuestos se pagan el mismo año en que se devengan, exige en el análisis de evaluación aún más al proyecto, y es por esto que se utiliza este criterio en la definición del K_d .

Conclusiones

Es importante señalar que el costo de la deuda no es independiente del costo de otros recursos como los aportados por los dueños o accionistas. Vale decir que a medida que una pequeña o mediana empresa aumenta su deuda, también aumenta el riesgo percibido por los inversores interesados en esta empresa, y por lo tanto, aumentarán sus expectativas de rentabilidad, aumentando el valor del costo de capital propio.

En definitiva y como corolario, podemos afirmar que un cálculo correcto del costo de la deuda no debe abarcar sólo utilizando el modelo del Costo promedio ponderado, el cual tiene en cuenta sólo las variables de montos y tasas de financiación, sino que cada empresa deberá calcular su costo de deuda específico según los flujos de las diversas fuentes de financiación, teniendo particular consideración en el "Ahorro fiscal" que pueden llegar a producir las diversas fuentes de financiación, pues como se ha mostrado en el desarrollo del Modelo 3, la forma en que se van a devolver los recursos obtenidos de Terceros influyen significativamente en el Costo financiero total para la compañía.

Así también, los gastos adicionales generados

⁶ El pago del alquiler del activo fijo "A", será $[A \times (1-T)]$ donde T es la fracción correspondiente al Impuesto a las Ganancias.

en la operación descriptos en el Modelo 2 deberán negociarse al momento de suscribir el Contrato con la entidad financiera, pues inciden significativamente en el CFT de la firma. Finalmente, tener un detalle estructurado de las formas de pagos de las distintas financiaciones con Terceros a los que se comprometa la firma, no sólo servirá para calcular en forma fina el costo financiero real de la empresa, sino que adicionalmente servirá para evitar potenciales problemas de liquidez para hacer frente a las distintas obligaciones contraídas e inherentes al proyecto.

Referencias

- BREALEY, R. A.; MYERS, S. C. & ALLEN, F. (2006). Principios de finanzas corporativas, 8va edición. Mc Graw Hill, España.
- FERNÁNDEZ, N., (2012). Estimación del costo de capital en la Pequeña y Mediana empresa. Decisiones de inversión, Consejo Profesional de Ciencias Económicas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- FERNÁNDEZ, N., (2012). Evaluación del costo financiero total. Decisiones de inversión, Consejo Profesional de Ciencias Económicas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- Fundación de Investigaciones Económicas Latinoamericanas (FIEL). Web-site institucional. <http://www.fiel.org/>
- LÓPEZ DUMRAUF, G., (2009) Costo de capital. Prácticas y controversias en mercados emergentes. UCEMA, Argentina. <http://www.ucema.edu.ar/~gl24/>
- LÓPEZ DUMRAUF, G., (2010) Finanzas corporativas: Un enfoque latinoamericano, 2da edición. Editorial Alfaomega, Uruguay.
- VÉLEZ PAREJA, I. A., (2009) Decisiones de inversión para la valoración financiera de proyectos y empresas, 6ta edición. Editorial Edición, Argentina.
- VÉLEZ PAREJA, I. A. (2002) Decisiones de inversión. Enfocado a la valoración de empresas, 3ra edición. Editorial Ceja, Colombia.
- López Dumrauf, Guillermo (2010). Finanzas corporativas: Un enfoque latinoamericano, 2da edición. Editorial Alfaomega, Uruguay.
- Vélez Pareja, Ignacio A. (2009). Decisiones de inversión para la valoración financiera de proyectos y empresas, 6ta edición. Editorial Edicon, Argentina.
- Vélez Pareja, Ignacio A. (2002). Decisiones de inversión. Enfocado a la valoración de empresas, 3ra edición. Editorial Ceja, Colombia.

Papas fortificadas con calcio y vitamina C conservadas por osmodehidrocongelación y envasadas en atmósfera modificada*

Luis Alberto Roche^{1, 2}, Reynaldo J. Silva Paz¹, Juan Miguel Languasco¹, Patricia A. Della Rocca¹, Rodolfo Horacio Mascheroni²

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, IDETQA, Departamento de Ingeniería Química, Medrano 951, (C1179 AAQ), C.A.B.A, Argentina

² Universidad Nacional de La Plata y CONICET, CIDCA, Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología, Calle 47 y 116, La Plata (B1900 AJJ), Pcia. de Buenos Aires, Argentina

patriciadellarocca@hotmail.com

Recibido el 14 de octubre de 2014, aprobado el 16 de diciembre de 2014

Resumen

En el presente trabajo se fortificaron cubos de papas con calcio y vitamina C, por osmodehidrocongelación. Se trata de un proceso combinado en el que se produce una deshidratación parcial del producto al sumergirlo en una solución acuosa concentrada de solutos comestibles y posterior congelación. Por consiguiente, se reduce la formación de cristales de hielo y se daña menos su estructura. Además la carga térmica a extraer es menor respecto del proceso de congelación sin dicho pretratamiento logrando un importante ahorro de energía y un producto de menor volumen y peso. La deshidratación osmótica con pulsos de vacío permitió impregnar con calcio y vitamina C el producto a concentraciones suficientes que permiten considerarlo como un alimento fortificado. El envasado con atmósfera modificada en bolsas de un material trilaminado posibilitó conservar las características nutricionales así como también su estabilidad al deterioro microbiano durante un lapso de 180 días.

PALABRAS CLAVE: FORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS – OSMODEHIDROCONGELACIÓN - IMPREGNACIÓN CON CALCIO - IMPREGNACIÓN CON VITAMINA C

Abstract

In this paper potato cubes were fortified with calcium and vitamin C by osmodehydrofreezing. This is a combined process in which a partial dehydration of the product by soaking it in an aqueous concentrated solution of edible solutes occurs, followed by a subsequent freezing. Therefore, the formation of ice crystals is reduced and less damage to the structure takes place. Besides, the thermal load is lower when compared to the freezing process without a pre-treatment, achieving significant energy savings and a lower volume and weight product. Vacuum pulse osmotic dehydration allowed to impregnate the product with calcium and vitamin C at high enough concentrations as consistent to consider it a fortified food. The modified atmosphere packaging bags of tri-laminate material allowed to retain the nutritional characteristics as well as their stability to microbial spoilage during a period of 180 days.

KEYWORDS: FOOD FORTIFICATION – OSMODEHYDROFREEZING - IMPREGNATION WITH CALCIUM - IMPREGNATION WITH VITAMIN C

* El presente artículo forma parte del trabajo de tesis "Osmodehidrocongelación de papa (*Solanum Tuberosum*) impregnada con vitamina C y calcio envasada en atmósfera modificada" para optar al grado académico de Doctor en Ingeniería, mención en Ciencia y Tecnología de Alimentos, de la Universidad Nacional de Entre Ríos, dirigida por Patricia A. Della Rocca y codirigida por Osvaldo D. Tisocco.

Introducción

La creciente demanda de productos naturales, nutritivos y saludables motivan a desarrollar alimentos fortificados con minerales y vitaminas que puedan extender su vida útil a través de procesos de conservación que preserven sus componentes nutritivos y que modifiquen mínimamente sus características organolépticas.

Los vegetales son componentes imprescindibles en la dieta diaria ya que proveen fibras y gran cantidad de vitaminas y minerales que intervienen en las funciones fisiológicas. El contenido de vitamina C en la papa es de 20 mg en 100 g de producto fresco y luego de la cocción su contenido se reduce alrededor de un 42% (Hironaka et al., 2011). Además debido a su alto contenido de agua, el tiempo de vida útil posterior a la cosecha es corto.

El calcio es un mineral esencial en la dieta. Un 99% del calcio corporal se encuentra formando parte de los huesos y los dientes. El 1% restante está en forma iónica o en combinación con alguna proteína, ejerciendo una considerable influencia sobre el metabolismo humano. Los iones calcio están implicados en todos los tipos de contracción muscular, incluidos las del músculo cardíaco, el músculo esquelético y el músculo liso encontrado tanto en vasos sanguíneos como las arterias. El calcio también actúa sobre un número considerable de enzimas entre las cuales se encuentran las que intervienen en la degradación del glucógeno muscular y hepático. Asimismo, el calcio ayuda a regular la transmisión del impulso nervioso, la coagulación de la sangre y la secreción hormonal. Sin embargo, los principales problemas de salud asociados con una alteración del metabolismo del calcio son las enfermedades relacionadas con los huesos. Diversos factores están implicados en la formación o mineralización del tejido óseo, entre ellos las tensiones mecánicas del ejercicio físico, las hormonas como la parathormona y la calcitonina, la vitamina D, los estrógenos y el aporte de calcio en la dieta. El desequilibrio de algunos de estos factores puede provocar la desmineralización de los huesos cuyo resultado es el raquitismo en los niños y la osteoporosis en los adultos (Williams et al., 2015).

La fortificación de la papa con componentes fisiológicamente activos, como el calcio, podría jugar un papel muy importante en el bienestar físico del ser humano. En especial a aquellas personas

que no consumen lácteos y sus derivados, excelentes fuentes de calcio, por intolerancia a la lactosa u otros efectos indeseables. Cabe resaltar, que los oxalatos, fitatos y fibras hallados en los vegetales pueden interferir en la absorción intestinal del calcio. La vitamina C bloquea los efectos inhibitorios de los fitatos y puede favorecer la absorción de calcio. También colabora en la absorción de hierro "no hem", proveniente de los vegetales. Es esencial para la resistencia del organismo a ciertas enfermedades, en la formación del colágeno y en la prevención del envejecimiento y algunas investigaciones la relacionan con la prevención de la mutación celular, una de las causas que puede dar lugar a enfermedades degenerativas y al cáncer. La vitamina C es un antioxidante que se puede usar para prevenir el pardeamiento y otras reacciones de oxidación en los alimentos.

El calcio extiende la vida útil de los vegetales y frutas ya que los iones calcio se unen con los grupos carboxilo libres de las cadenas de pectina, resultando en el fortalecimiento de la pared celular (García, Herrera y Morilla, 1996).

La aplicación de la deshidratación osmótica (osmodeshidratación) a los productos frutihortícolas como pretratamiento antes de otros procesos posteriores como la fritura, congelación, secado, liofilización, etc., resulta muy ventajosa, ya que permite disminuir parcialmente su humedad (extender su vida útil) y simultáneamente, adicionar minerales y vitaminas al producto a través de la solución de deshidratación. Es importante para la ingeniería en el caso de la deshidratación osmótica de alimentos acelerar la transferencia de masa tanto de agua como de solutos de manera tal de disminuir los tiempos de procesamiento y poder modificar simultáneamente sus características nutricionales.

La deshidratación osmótica permite extraer parte del agua contenida en un alimento, al ponerlo en contacto directo con una solución concentrada en solutos. El agua del interior del alimento (solución diluida) difunde a través de las membranas celulares que son semipermeables hacia el medio que lo rodea (solución más concentrada). Como esta membrana es parcialmente selectiva se produce cierto ingreso del soluto de la solución hacia el alimento. Este fenómeno se denomina impregnación y se produce en menor grado que la deshidratación. La deshidratación osmótica se produce por la diferencia de presiones osmóticas, la difusión, relacionada con la

diferencia de concentraciones de solutos y cuando existen gradientes de presión se produce el movimiento tanto de agua como de solutos por capilaridad por un mecanismo hidrodinámico. Este nuevo mecanismo se ha propuesto como responsable del efecto del vacío sobre la deshidratación osmótica. La presencia de poros en los alimentos se puede atribuir a muchos factores, uno de ellos es la existencia de espacios intercelulares que se encuentran en el tejido parenquimático de los vegetales. En el caso de someter el sistema a presión subatmosférica, el gas ocluido en la estructura porosa sufre una expansión para equilibrarse con la presión impuesta al sistema, de forma que se produce la pérdida parcial del mismo y una mayor penetración del líquido que ingresa por capilaridad. En la deshidratación con pulso de vacío se somete a la muestra y la solución deshidratante al vacío durante un corto período de tiempo y luego se restablece la presión atmosférica.

En los tratamientos osmóticos la pérdida de agua se asocia a la pérdida de turgencia celular y a cambios estructurales que provocan la disminución de firmeza de los alimentos. Esta disminución se puede mitigar con la incorporación de iones calcio en el alimento durante la deshidratación osmótica con pulso de vacío (DOPV).

La aplicación de calcio en los alimentos se realiza a través de sales, como cloruro de calcio, lactato de calcio, etc., el cual tiene un papel importante en la conformación de las membranas de la pared celular, fortaleciendo su integridad y por ende la textura durante el tiempo de conservación, ya que el calcio influye en la permeabilidad de las membranas celulares, la activación de enzimas específicas y en la evolución de la senescencia de los frutos, considerando que un aumento de su concentración en el tejido, altera los procesos de la respiración y senescencia (García-Méndez y Praderas-Cárdenas, 2010). Numerosas investigaciones se han realizado en relación a la deshidratación osmótica empleando el calcio como compuesto fisiológicamente activo. Landaeta et al. (2008) fortificaron mitades de duraznos (*Prunus persica L. Batsch*) con soluciones de 1, 3 y 5% CaCl_2 y por medio de la DOPV encontraron que la mayor absorción del mineral con respecto al tratamiento control (13,798 mg $\text{CaCl}_2/100$ g) se presentó en el tratamiento con 5 % CaCl_2 (330,04 mg $\text{CaCl}_2/100$ g); y no hubo diferencias en cuanto al color, pero sí en la textura y sabor. Por otro lado, (Sanjinez-

Argandoña et al.,2010) estudiaron el efecto de la deshidratación osmótica y el agregado de CaCl_2 en rodajas de kiwi mínimamente procesadas. La deshidratación osmótica consistió en la inmersión de las muestras de frutos en solución de sacarosa a 60 % m/m (sin CaCl_2) y en solución de sacarosa a 60% m/m con adición de CaCl_2 (0,1 M); concluyendo que el pretratamiento osmótico con adición de CaCl_2 incrementó la vida útil hasta 15 días, mientras que aquellas sin adición de CaCl_2 presentaron vida útil de 12 días.

Los procesos de impregnación de frutas y verduras con soluciones hipertónicas que contienen minerales y vitaminas fueron ampliamente estudiados y bien reportados en la literatura (Gras et al., 2003, Moreno et al., 2012, Spiazzi y Mascheroni, 1997, Bambicha et al., 2010)

Para proteger los componentes adicionados al alimento es necesario usar envases de un material polimérico adecuado y atmósferas que colaboren en su preservación.

El envasado en atmósfera modificada, MAP (Modified Atmosphere Packaging) consiste en sustituir la atmósfera de aire que rodea el alimento por una mezcla de gases. La composición de la atmósfera a utilizar depende de la naturaleza del producto a envasar. En este trabajo la composición fue 30 % de dióxido de carbono (CO_2) y 70 % de nitrógeno (N_2). El CO_2 actúa como inhibidor del crecimiento microbiano según dos mecanismos: uno de ellos es el de disminuir el pH y el otro es el de interferir en los sistemas enzimáticos. El N_2 es un gas inerte de baja solubilidad en agua que puede desplazar el oxígeno (O_2) y así evitar reacciones de oxidación y de deterioro por microorganismos aerobios. La ventaja que presenta esta tecnología se basa en que permite prolongar el tiempo de vida útil del alimento protegiéndolo del daño mecánico, previniendo el deterioro microbiano del producto, preservando los nutrientes, etc.

El objetivo principal de este trabajo fue diseñar un producto fortificado, a través de la impregnación de los cubos de papa con calcio y vitamina C y envasarlos en bolsas de un material polimérico adecuado y en atmósfera modificada de manera tal, de preservar estos componentes adicionados y extender la vida útil del producto.

Materiales y métodos

Material: Los ensayos se llevaron a cabo en tubérculos de papa (nombre científico: *Solanum tuberosum*), variedad Spunta. Su composición química se presenta en la Tabla 1. Las papas se lavaron, pelaron y cortaron en cubos de 1 cm de arista.

Métodos:

Los ensayos de deshidratación osmótica con pulso de vacío (DOPV) se llevaron a cabo en un equipo como el que se aprecia en la Figura 1. Los cubos de papa de 1 cm de arista se sumergieron en una solución acuosa hipertónica de concentración de sacarosa 40% m/m, cloruro de sodio 5% m/m, ácido ascórbico 1% m/m y lactato de calcio 1% m/m. La temperatura de trabajo fue de 40°C. Se empleó una relación masa de papa a masa de solución de 1:4 con un nivel de agitación 120 ±5 rpm. Las muestras se sometieron a una presión de 100 mbar por 5 min y luego se restableció la presión atmosférica durante 1 hora. Las experiencias se llevaron a cabo por triplicado. Posteriormente, los cubos fueron envasados en dos tipos de bolsas o empaques:

- 1) bolsas de material multicapa: polietileno-aluminio-polietileno
- 2) bolsas de polietileno de baja densidad

Las primeras se envasaron en atmósfera modificada: 30% de CO₂ y 70 % de N₂.

Asimismo, los cubos de papas frescas (sin ningún tratamiento) fueron envasados en bolsas de baja polietileno de baja densidad. El peso de cada bolsa envasada fue de aproximadamente 50 ± 2 g. Los productos envasados fueron luego congelados en un túnel de congelación hasta alcanzar -18 °C en el centro de las bandejas.

Determinación analítica de vitamina C

La determinación de vitamina C o ácido ascórbico, se realizó en dos pasos: primero se realizó un proceso de extracción donde cada muestra fue pesada (valores comprendidos entre 5 y 8 g) y triturada en un mortero de porcelana durante 5 minutos, con la adición, en forma gradual, de 50 ml de solución buffer con ácido metafosfórico 0,85 % (pH 2,5). Esta mezcla se transfirió a un vaso de vidrio oscuro, se sometió a ultrasonido por 10 minutos, se filtró y de inmediato se inyectó al cromatógrafo.

Luego se cuantificó el contenido del ácido L-ascórbico, el cual se llevó a cabo mediante cromatografía líquida (HPLC), con columna Altima C-18 fase reversa de 30 cm de longitud (250 mm x 4,6 mm, 5 µm de tamaño de partícula) y detector UV (λ = 254 nm). Se utilizó una fase móvil formada por buffer (Metanol: Acetato de sodio 80 mmol proporción 15:85, pH=4,6, a una velocidad de flujo de 0,9 mL/min y se inyectaron 50 µL de cada una de las muestras. La identificación y cuantificación se realizó por comparación del tiempo de retención y magnitud del área del pico con un estándar de referencia.

Componente	Porcentaje	Componente	Porcentaje
Humedad	79,35 ± 5,09	Fibras	1,22 ± 0,50
Proteínas	1,20 ± 0,20	Carbohidratos	15,9 ± 1,91
Grasas	0,35 ± 0,05	Azúcares reductores	0,31 ± 0,12
Cenizas	0,90 ± 0,49		

Tabla 1. Composición química de la papa, variedad Spunta

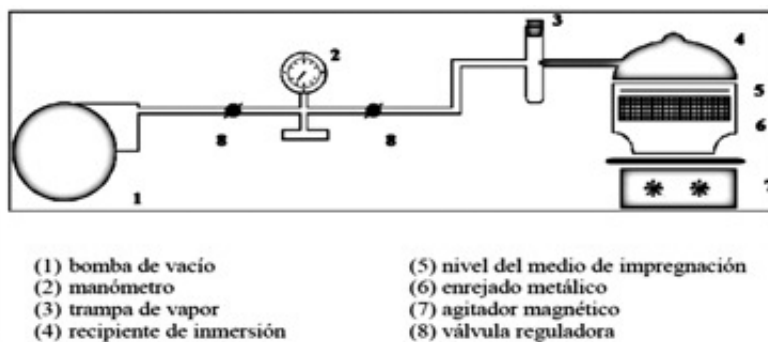


Fig. 1. Equipo de deshidratación osmótica con pulso de vacío (DOPV)

Las muestras estándar a ser usadas como referencia de ácido L-ascórbico se prepararon diluyendo 100 mg de ácido L-ascórbico (A-0278, SIGMA) en 100 mL de buffer. Posteriormente esta solución se diluyó 1/10, 1/50 y 1/100. Se inyectaron 50 µL de cada una de estas diluciones para verificar que la relación concentración-área que mantiene un comportamiento lineal en este rango de concentraciones. Se tomó como referencia el área obtenida con la inyección de 50 µL de estándar, concentración 0,02 mg/mL (técnica de patrón externo). Se cuantificó el área de referencia al iniciar y al finalizar cada sesión de cromatografía. Los análisis en todos los casos se realizaron por duplicado y los resultados que se exponen son los valores medios.

Determinación analítica de Calcio

El contenido de Ca⁺² en las muestras frescas y fortificadas se determinó por absorción atómica en un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 3300. Para ello se empleó una lámpara de cátodo hueco de calcio y se trabajó a una longitud de onda de 422,7 nm con una llama de aire-acetileno. La cuantificación de Ca⁺² se realizó por triplicado. Las muestras fueron previamente digeridas.

Ensayos de compresión uniaxial

Las mediciones de textura fueron realizadas con un texturómetro Universal Testing Machine, modelo TATX2i, marca Stable Micro Systems.

Se realizaron ensayos de compresión uniaxial a las muestras de papa fresca, fresca congelada-descongelada y osmodehidrocongelada-descongelada a diferentes tiempos de almacenamiento a -18 °C (15, 30, 60 y 90 días). Se empleó una celda de compresión de 50 kg, una sonda metálica punta de aguja de 36 mm, 0,5 mm de distancia y una velocidad de compresión de 0,8 mm/s sobre la muestra. Las mediciones se hicieron por decuplicado.

Análisis microbiológicos del producto de osmodehidrocongelado

Los análisis se realizaron en los días 0, 30, 60, 90 y 180 de almacenamiento (a -18 °C) en los cubos de papa osmodehidrocongelados envasados en los dos tipos de empaques. Los ensayos microbiológicos realizados fueron:

- Recuento de Aerobios mesófilos.

- Recuento de Coliformes Totales.
- Recuento de Hongos y Levaduras.
- Recuento de *Staphylococcus aureus coagulasa*.

En todos ellos el método empleado fue BAM-FDA-ICMSF (2000) Edición 2. Método 1.

Proceso congelación-descongelación

En el proceso de congelación se utilizó un túnel de congelación a escala piloto (Figura 2) con bandejas en su interior, el cual permite alcanzar condiciones operativas similares a las de la industria. Este equipo permite el registro de la temperatura colocando en el aire del túnel y en el centro térmico (centro de la bandeja y centro de los cubos) una termocupla. El coeficiente de transferencia calórico del equipo de congelación se halla en el rango de 20-23 W/m²°C.

Las muestras (cubos de papas frescos y parcialmente deshidratados) fueron almacenadas a 4°C durante 12 horas en recipientes plásticos cerrados, previamente al proceso de congelado, para equilibrar las concentraciones internas de agua y soluto. Posteriormente estas muestras, colocadas sobre bandejas de acero inoxidable perforadas, fueron congeladas en equipo piloto de congelación con circulación de aire a -31.5 ± 1 °C. Durante este proceso, termocuplas de cobre-constantan conectadas a un adquisidor de datos, fueron ubicadas en el centro de cinco muestras procesadas por DO a presión de vacío y una termocupla fue posicionada dentro de la cámara del congelador para medir la temperatura del aire. La temperatura de las muestras y del medio fue registrada con intervalos de tiempo de 10 segundos y almacenada en la computadora. Al lograr la temperatura de -18 °C se retiraron del equipo de congelación y fueron almacenadas en un *freezer* a -18 °C por 90 días (3 meses). Se evaluaron las propiedades ópticas y mecánicas a los 0, 60, 90 días luego del proceso congelación y descongelación. Se determinó el contenido de vitamina C y calcio luego de 90 días de almacenamiento en el *freezer* y luego del proceso de descongelación. El proceso de descongelación se realizó a temperatura constante de 20 °C durante 2 h, en frascos cerrados.

Los cubos de papa osmodehidrocongelado-descongelados luego de 180 días de almacenamiento y los cubos de papa fresca, fueron llevados a un proceso de cocción por un tiempo de 12 min a 98 °C, y se determinó el contenido de vitamina C y calcio.



Fig. 2. Equipo para realizar la congelación de alimentos

Medidas del exudado del producto osmodehidrocongelado luego de su descongelación

Las muestras congeladas se colocaron sobre papel absorbente y se dejaron descongelar a temperatura constante durante 2h a 20°C. El sistema completo se mantuvo en frascos cerrados para minimizar las pérdidas por evaporación. Se registró el peso inicial, previo a la descongelación, de cada muestra (M_i), el peso del papel seco (w_0) y el peso del papel con el líquido de exudado (w_i). M_0 representa el peso de cada muestra previo al proceso de deshidratación.

Los resultados se expresan en gramos perdidos por exudado – *drip loss* – por gramo de producto final (1) y por gramo de producto fresco (2):

$$DL_M = \frac{w_i - w_0}{M_i} ; DL_{M_0} = \frac{w_i - w_0}{M_0} \quad (1) \quad (2)$$

Resultados

Análisis del contenido de vitamina C

En la Tabla 2 el contenido de vitamina C para la papa fresca sin tratamiento concuerda con lo reportado por diversos autores (Sinha et al., 2011; Lisinska y Leszczynski, 1989). Durante el tiempo de almacenamiento el contenido de vitamina C tiende a disminuir debido a su pérdida por oxidación (Lisiewska y Volden et al., 2009), pero el tipo de envasado puede ayudar a mejorar la retención de vitamina C. Las muestras envasadas en polietileno-poliamida-polietileno presentan una mayor retención de este nutriente respec-

to a las muestras envasada en polietileno. Este fenómeno es atribuible a una menor permeabilidad al aire y una mayor opacidad del material trilaminado que no permite que la luz catalice la reacción de oxidación de la vitamina C. Existen numerosos investigadores que estudiaron la retención de vitamina C durante el proceso de deshidratación osmótica (Asami et al., 2003; Nicoletti et al., 2004; Erenturk et al., 2005; Orikasa et al., 2008; Ramallo y Mascheroni, 2010).

Luego de todos los procesos a los que se la sometió a la papa: deshidratación osmótica, congelación, envasado en material trilaminado en atmósfera de vacío y almacenamiento en congelación a -18°C durante 90 días, el contenido de vitamina C de la papa fue de 269 ± 5 mg/100g, aproximadamente 14 veces superior al valor de la papa fresca sin tratamiento y sin almacenamiento y un 80% superior al de la papa sometida a los mismos tratamientos y envasada en polietileno. Estas diferencias evidencian la mejor protección del trilaminado que evita la oxidación de la vitamina C. Estas papas fueron posteriormente cocidas en agua a ebullición por 12 min a temperatura de 95 ± 5 °C. El contenido final de vitamina C fue de 33 ± 3 mg/100 g, un 65% mayor al contenido de la papa fresca sin tratamiento y sin almacenamiento. Estos resultados confirman la labilidad de la vitamina C que se degrada fácilmente con el calor y las grandes pérdidas en el agua producidas por su alta hidrosolubilidad.

Análisis del contenido de calcio

El análisis del contenido de calcio en los productos osmodehidrocongelados envasados en dife-

Muestra	Vitamina C (mg/100g)
Papa fresca (sin almacenamiento)	20 ± 5
ODC Polietileno (PE) 90 días	149 ± 10
ODC Polietileno-Aluminio-Polietileno (PE-AL-PE) 90 días	269 ± 5
Papa cocida luego de ODC (PE-AL-PE) 90 días	33 ± 3

Tabla 2. Contenido del ácido ascórbico (vitamina C) en muestras de papa fresca, osmodehidrocongelada (ODC) y envasada en dos tipos de empaque y en papa luego de su posterior cocción. Todas las muestras fueron almacenadas durante 90 días a -18 °C a excepción de la papa fresca.

Muestra	Calcio (mg/100g)
Papa fresca (sin almacenamiento)	5,1 ± 1
ODC Polietileno (PE) 90 días	131 ± 4
ODC Polietileno-Aluminio-Polietileno (PE-AL-PE) 90 días	175 ± 4
Papa cocida luego de ODC (PE-AL-PE) 90 días	28 ± 1

Tabla 3. Contenido de calcio en muestras de papa fresca, osmodehidrocongelada (ODC) y envasada en dos tipos de empaque y en papa luego de su posterior cocción. Todas las muestras fueron almacenadas durante 90 días a -18 °C a excepción de la papa fresca.

rentes tipos de envase y posterior cocción en comparación al producto fresco, se presenta en la Tabla 3. El tipo de envase influye en la conservación del contenido de calcio, el envasado en polietileno-aluminio-polietileno (PE-AL-PE) con atmósfera modificada, presenta un mayor contenido de calcio respecto del envasado en polietileno (PE). Además, los cubos de papa luego de los 90 días de almacenamiento en PE-AL-PE y posterior cocción muestran mayor concentración que la papa fresca, aproximadamente 6 veces mayor.

El tipo de material de envase conjuntamente con la atmósfera modificada reduce la pérdida de calcio, similar comportamiento demostró la vitamina C.

La cocción por inmersión en agua hirviendo produce una gran pérdida del contenido de calcio.

Análisis de los parámetros de textura en las muestras congeladas-descongeladas con y sin pretratamiento osmótico

Los resultados del ensayo de textura de los cubos de papa fresca, papa fresca congelada-descongelada y osmodehidrocongelada-descongelada, se muestran en las Figura 3.

La textura de la papa fresca ($F_0=100$ g.f) y la papa fresca congelada-descongelada, sin tratamiento ($F_0=38$ g.f) presenta diferencias significativas. Sin embargo, cuando las muestras se pretratan osmóticamente y se adiciona calcio, el proceso de congelación-descongelación afecta

en menor medida la textura de la papa. Para tiempos de almacenamiento menores se puede apreciar una mayor firmeza, a la que le corresponde una mayor fuerza de compresión uniaxial. El calcio preservó la textura ya que las paredes celulares de la papa poseen pectinas en su lamina media que provocan el entrecruzamiento de éstas con este mineral manteniendo la firmeza.

Determinación del producido de exudado

En la Figura 4 se presenta el exudado producido durante la descongelación de cubos de papa osmodehidrocongelados y envasados en polietileno (PE) y Polietileno-Aluminio-Polietileno (PE-AL-PE) almacenados durante 90 días en congelación y el exudado de la papa fresca congelada-descongelada sin tratamiento de DOPV. Todas las muestras pierden líquido durante el proceso de descongelación. Tanto durante la deshidratación osmótica como en la congelación se daña parcialmente la estructura del tejido de la papa.

En la descongelación la liberación de exudado es mayor en las muestras pretratadas por deshidratación osmótica que la papa fresca que conserva mejor su estructura pues sólo ha sido congelada. Además, la elevada concentración de azúcar en la superficie del tejido vegetal puede provocar una mayor migración de agua desde el interior del producto. Este comportamiento coincide con lo reportado por Marani et al. (2007) durante la descongelación de frutilla previamente sometida a deshidratación osmótica; Ramallo (2010) en la descongelación de ananá pretratado por deshidratación osmótica; Bianchi et al. (2011)

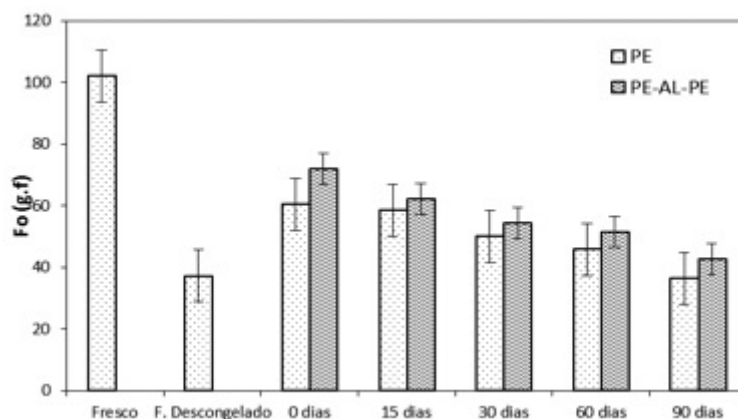


Fig. 3. Ensayos de textura en cubos de papa descongelados durante el almacenamiento, envasados en dos tipos de empaque respecto a la papa fresca.

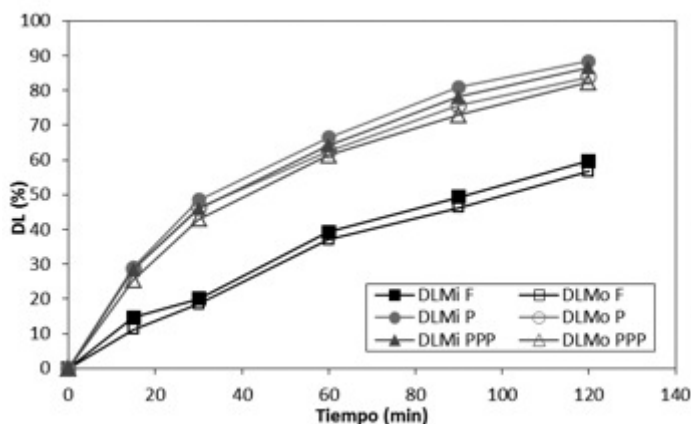


Fig. 4. Exudado producido durante la descongelación de cubos de papa osmohidrocongelados luego de 90 días de almacenamiento envasados en dos tipos de empaque respecto a los cubos de papa fresca.

en peras, kiwis y melón descongelados tratados previamente por osmohidratación; Akbaba y Icier (1998) encontraron que la cantidad de exudado de frutillas envasadas cubiertas con azúcar cristalino fue mayor que en frutillas frescas.

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos luego de los ensayos microbiológicos analizados a diferentes tiempos: 0, 30, 90 y 180 días para las papas osmohidrocongeladas y envasadas en bolsas de polietileno y de polietileno-aluminio-polietileno en atmósfera modificada.

Los análisis microbiológicos realizados a las muestras en condiciones iniciales mostraron concentraciones de 150-350 UFC/g para hongos y levaduras, y <10 UFC para mesófilos, coliformes totales y *Staphylococcus aureus coagulasa* (+). Estos recuentos pueden considerarse como una carga microbiana relativamente baja. Es importante destacar que los recuentos microbianos en frutihortícolas pueden llegar a alcanzar 10⁷ UFC/g, si no se aplican las adecuadas prácticas

de poscosecha o de manufactura que contribuyen a minimizar el crecimiento microbiano (Trujillo et al., 2001).

Los hongos y las levaduras que pueden subsistir a actividades de agua (a_w) bastante más bajas que las bacterias, cercanas a 0,6, se hallaron al día cero. Sin embargo luego de los 30 días disminuyen en ambas condiciones de envasado. Luego de 180 días de almacenamiento a -18 °C, las muestras envasadas en diferentes condiciones, no presentaron contaminación apreciable por los microorganismos típicos (<10 UFC/g) independientemente del tipo de envasado. Por lo tanto podemos considerar que el producto se mantuvo estable frente al deterioro microbiano en el lapso de tiempo analizado. Similar comportamiento observaron Ceballos, (2005) en papaya; Torres (2006) en mango; Luna Guzmán y Barret (2000) en melón fresco cortado.

Análisis	Papa osmodehidrocongelado envasada en polietileno (PE)				Papa osmodehidrocongelado envasada en polietileno-aluminio-polietileno (PE - AL- PE)			
	0 días	30 días	90 días	180 días	0 días	30 días	90 días	180 días
Recuento de mesófilos	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g
Recuento de coliformes totales	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g	<10 UFC/5g
Recuento de hongos y levadura	350 UFC/g	<10 UFC/g	<10 UFC/g	<10 UFC/g	150 UFC/g	<10 UFC/g	<10 UFC/g	<10 UFC/g
Recuento de <i>Staphylococcus aureus coagulasa</i>	<100 UFC/g	<100 UFC/g	<100 UFC/g	<100 UFC/g	<100 UFC/g	<100 UFC/g	<100 UFC/g	<100 UFC/g

Tabla 4. Recuento microbiano en cubos de papa osmodehidrocongelados envasados en dos tipos de empaque durante su almacenamiento

Conclusiones

El producto envasado en polietileno-aluminio-polietileno con atmósfera modificada preservó mejor el contenido de calcio del alimento y por consiguiente el mismo presentó, luego del proceso de descongelación, un valor levemente mayor de firmeza respecto del envasado en polietileno.

El producto envasado en polietileno-aluminio-polietileno con atmósfera modificada presentó un mayor contenido de vitamina C luego de 90 días de almacenamiento ya que el material trilaminado es opaco e impide que la luz catalice la oxidación de la vitamina C. También evita el ingreso de O₂ hacia el interior del envase, dificultando la reacción de pardeamiento enzimático y la oxidación de la vitamina C.

La atmósfera modificada evitó el contacto con el O₂ impidiendo la oxidación de la vitamina C y las reacciones de pardeamiento en las superficies.

El CO₂ de la atmósfera modificada actúa como inhibidor de los microorganismos ya que la fase de adaptación y la de crecimiento se retrasan.

El producto se mantuvo estable microbiológicamente durante los 6 meses almacenados a -18 °C debido al uso de la atmósfera modificada, al agregado de lactato de calcio que reduce la actividad de agua del producto, a la impregnación con vitamina C que ayuda a disminuir el pH y al proceso de osmodehidrocongelación.

La deshidratación osmótica aplicada como una etapa previa a la congelación produce consecuencias favorables ya que permite la obtención de un producto hortícola fortificado, mejorando su calidad nutricional y sus características organolépticas como color y textura. Cabe resaltar, la ventaja de disminuir el tiempo necesario para la congelación del producto al reducir el contenido de humedad durante la deshidratación osmótica y lograr al final del proceso de osmodehidrocongelación un producto estable microbiológicamente.

Referencias

- AKBABA, H. y ICIER, F. (1998). Effect of sugar treatments on freezing of strawberries. Proceedings of Advances in the Refrigeration Systems, Food Technologies and Cold Chain Commissions B2, C2 & D1-3. Sofia, Bulgaria. International Institute of Refrigeration, 6: 570-577.
- ASAMI, D. K., HONG, Y.J., BARRETT, D. M. y MITCHELL, A. E. (2003). Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry and corn grown using conventional, organic and sustainable agricultural practices. J. Agric. Food Chem. 51:1237-1241.
- Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.). (1996). Official Methods of Analysis, 12° Ed. AOAC, Washington, DC. pp. 829.
- BAMBICHA, R. R., MASCHERONI R. H., AGNELLI M. E. Deshidratación osmótica de kiwi (*actinidia chinensis* p.) En soluciones azucaradas con agregado de calcio. Cd vi Congreso argentino de ingeniería química - caiq2010, trabajo 1075 (2010).
- BIANCHI, M. (2010). Modelado y Simulación de procesos de congelación y dehidrocongelación de frutas. Tesis de Maestría. Universidad Nacional del Litoral, Argentina.
- BIANCHI, M.; GUARNASCHELLI, A. y MILISENDA, P. (2011). Dehidrocongelación de frutas: estudio de los parámetros de calidad. Revista INVENIO. 26:117-123.

- BIANCHI, M.; MILISENDA, P.; GUARNASCHELLI, A.; ABECASIS, C. y MASCHERONI, R.H. (2008). Modelado y simulación de procesos de congelación y dehidrocongelación de frutas. Publicado en actas del Congreso Americano de Tecnologías de Aire Acondicionado y Refrigeración 2008; Buenos Aires, 107-122.
- CEBALLOS, C.G. (2005). Estudios de papaya mínimamente procesada por deshidratación osmótica, Tesis Doctoral, Universidad de Valencia, España.
- ERENTURK, S.; GULABOGLU, S. y GULTEKIN, S. (2005). The effects of cutting and drying medium on the vitamin C content of rosehip during drying. *J. of Food Engineering*, 68: 513-518.
- GARCÍA-MÉNDEZ, A.D. y PRADERAS-CÁRDENAS, G.M. (2010). Influencia del cloruro de calcio y de un tipo de empaque sobre las propiedades físicoquímicas y la textura de la fresa (*Fragaria X Ananassa Duch.*) durante el almacenamiento. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. Vol.63. N° 1. Pág. 8.
- GARCÍA MARTÍNEZ, E.; RUIZ DIAZ, G.; MARTÍNEZ MONZÓ, J.; CAMACHO, M.; MARTÍNEZ NAVARRETE, N. y CHIRALT, A. (2002). Jam manufacture with osmodehydrated fruit. *Food Research International*, 35: 301-306.
- GRAS, M.; VIDAL, D.; BETORET, N.; CHIRALT, A. y FITO, P. (2003). Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation. Interaction with cellular matrix. *Journal of Food Engineering*, 56: 279-284.
- HIRONAKA, K.; KIKUCHI, M.; KOAZE, H.; SATO, T.; KOJIMA, M.; YAMAMOTO, K.; YASUDA, K.; MORI, M. y TSUDA, S. (2011). Ascorbic acid enrichment of whole potato tuber by vacuum impregnation. *Food Chemistry* 127: 1114-1118.
- International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). (2005). Vegetables and vegetables products. In: ICMSF, *Microorganism in food 6: microbial ecology of food commodities*, 2° Edition. Kluwer Academic/Plenum Publisher, New York.
- LISIEWSKA, Z. y KMIĘCIK, W. (1996). Effects of level of nitrogen fertilizer, processing conditions and period of storage of frozen broccoli and cauliflower on vitamin C retention. *Food Chemistry*, 57: 267-270.
- LISINSKA, G. y LESZCZYNSKI, W. (1989). *Potato Science and Technology*. Elsevier Applied Science Publishers 391:164-178.
- LUNA GUZMAN, I. y BARRET, D.M. (2000). Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology*, 19: 61-72.
- MARANI, C.; AGNELLI, M. y MASCHERONI, R.H. (2007). Osmo-frozen fruits: mass transfer and quality evaluation. *Journal of Food Engineering*, 79: 1122-1130.
- MORENO, J.; CHIRALT, A.; ESCRICHE, I. y SERRA, J.A. (2000). Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. *Food Research International*, 33: 609-616.
- NICOLETI, J.; SILVEIRA-JUNIOR, V.; TELIS-ROMERO, J. y TELIS, V. (2004). Ascorbic acid degradation during convective drying of persimmons with fixed temperature inside the fruit. *Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)*, São Paulo, Brazil, vol. C, 1836-1843.
- RAMALLO, L.A. (2001). Deshidratación osmótica de ananá: Un modelo matemático sencillo. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Misiones, Argentina.
- RAMALLO, L.A. (2010 b). Estudio teórico y validación experimental de la dehidrocongelación de ananá. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional La Plata, Argentina.
- RAMALLO, L.A.; MASCHERONI R. H. (2010), Drying characteristics of kiwifruit during hot air drying. *Journal of Food Engineering*, 99, 269-275.
- SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; BRANCO, I. G.; TAKITO, S. y GÓMEZ, CORBARI J.E. (2010). Influencia de la deshidratación osmótica y de la adición de cloruro de calcio en la conservación de kiwis mínimamente procesados. *Ciência e Tecnologia de Alimentos (Brasil)*. 30(Supl. 1):205-209.
- SINHA, N.; HUI, Y.H.; EVRANUZ, E.; SIDDIQ, M. y AHMED, J. (2011). *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*. Ed. Wiley-BlackWell.
- SPIAZZI, E.A. y MASCHERONI, R.H. (1997). Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables-I. Development of the simulation model. *Journal of Food Engineering*, 34: 387-410.
- SPIAZZI, E.A.; RAGGIO, Z.I.; BIGNONE, K.A. y MASCHERONI, R.H. (1998). Experiments in dehydrofreezing of fruits and vegetables: Mass transfer and quality factors. *Advances in the refrigeration systems, International Institute of Refrigeration Proceeding Series*, 6: 401-408.
- TORRES, J.; TALENS, P.; ESCRICHE, I. y CHIRALT, A. (2006). Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Engineering*, 74: 240-246.
- TRUJILLO, F.; LÓPEZ, S.; TAVERA, V.; TAPIA, M. S. y CAVA, R. (2001). Estudio de la estabilidad de melón mínimamente procesado por impregnación a vacío. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51: 173-179.
- VOLDEN, J.; BENGTSOON, G.B. y WICLUND, T. (2009). Glucosinolates, L-ascorbic acid, total phenols, anthocyanins, antioxidant capacities and colour in cauliflower (*Brassica oleracea L. ssp. Botrytis*); effects of long-term freezer storage. *Food Chemistry* 112:967-976.
- WILLIAMS, M.; ANDERSON, D.E. y RAWSON, E. (2015). *Nutrición para la salud, la condición física y el deporte*. Editorial Paidotribio. ISBN 9788499105284. Pág. 848.

Evaluación de la calidad de TRAM en la detección de fallas de fabricación en circuitos integrados analógicos fabricados en tecnología CMOS de 500nm

Sebastián Pazos¹, Fernando Aguirre¹, Tomás Mazur¹, Gabriela Peretti², Eduardo Romero²

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Av. Medrano 951, (C1179AAQ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

² Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María, Av. Universidad 450, (5900) Villa María, Córdoba, Argentina

spazos@frba.utn.edu.ar

Recibido el 15 de diciembre de 2014, aprobado el 21 de enero de 2015

Resumen

En este trabajo se presenta la evaluación de la capacidad de la estrategia de test denominada Método de Análisis Transitorio (TRAM, Transient Analysis Method) para la detección de fallas paramétricas en los componentes pasivos de un filtro activo de segundo orden. Se pretende realizar evaluaciones similares a las previamente reportadas pero con modelos de simulación considerablemente más exactos y que responden a una tecnología específica. Con este propósito, se ha diseñado un filtro en una tecnología CMOS de 500nm y se lo ha adoptado como caso de estudio. Los modelos de simulación a nivel transistor han sido empleados en las evaluaciones. Nuestros resultados confirman los problemas de la estrategia para la detección de desviaciones paramétricas pequeñas.

PALABRAS CLAVE: METODO DEL ANÁLISIS DE LA RESPUESTA TRANSITORIA – TRAM – FILTRO DE SEGUNDO ORDEN – TESTING DE CIRCUITO INTEGRADOS ANALÓGICOS

Abstract

This work presents the evaluation of the ability of the so called Transient Analysis Method (TRAM) for detecting parametric faults in the passive components of a second-order active filter. We perform evaluation similar to the previously reported but using a considerably more detailed simulation model. A particular technology is targeted for the filter design. Particularly a 500nm CMOS technology has been proposed and the resulting filter adopted as case study. Transistor-level simulation model has been used for our evaluations. Our results confirm the problems of TRAM for detecting small deviation in the components.

KEYWORDS: TRANSIENT RESPONSE ANALYSIS METHOD - 2ND ORDER FILTERS - ANALOG IC TESTING

Introducción

Las metodologías de test de productos electrónicos pueden definirse como el conjunto de procedimientos aplicados durante el proceso de fabricación de dichos productos y orientados a la detección y descarte de los sistemas o componentes que no cumplan con las especificaciones. Los procedimientos de test permiten la consecución de diferentes objetivos, entre los que deben mencionarse los siguientes: evitar que un producto defectuoso llegue al usuario, reducir los costos de fabricación al evitar pasos de procesamiento sobre un producto defectuoso, la generación de datos sobre la marcha del proceso de producción y la clasificación de productos según su desempeño.

En la actualidad, el test de circuitos analógicos y de señal mixta impacta severamente en el costo de los mismos, superando valores del 33% dependiendo de las características particulares del circuito bajo test. En particular, las secciones arriba mencionadas ocupan por lo general áreas de silicio pequeñas comparadas con sus contrapartes digitales. Sin embargo, presentan los problemas más desafiantes. Esto se debe a la naturaleza de las señales involucradas y a la baja observabilidad de los nodos internos de los circuitos.

Lo señalado, junto con la necesidad de reducir los costos de producción ha motivado que las comunidades académicas e industriales dedican grandes esfuerzos al desarrollo de metodologías de test para circuitos analógicos y de señales mixtas (Vinnakota, 1998; Chatterjee et al, 1997). Una particular atención han recibido los filtros, debido a que son ampliamente utilizados en una multiplicidad de aplicaciones.

Una de las alternativas para el test de filtros es el enfoque funcional, que propone medir las especificaciones del circuito y determinar si se encuentran dentro de una ventana de aceptabilidad. Normalmente, la aplicación de este enfoque consume mucho tiempo y es muy costoso. Frente a ello se generaron diferentes alternativas para el test de estos circuitos, basadas en algún tipo de reconfiguración y el agregado de circuitos (Soma, 1990; Vázquez et al, 1994; Romero et al, 2005).

Entre estos métodos se destaca por su simplicidad conceptual y de aplicación el Método de Análisis Transitorio (TRAM, *Transient Analysis Method*), aplicable a filtros de segundo orden (Calvano et al, 1999, 2000, 2005). Este método se basa en excitar el circuito bajo test con un estímulo que provoque un transitorio subamortiguado, asumiéndose que una falla provocará la alteración de algunos de los parámetros de su respuesta transitoria. El monitoreo de estos parámetros permitirá la detección de las fallas.

Los trabajos mencionados anteriormente han establecido la eficiencia de TRAM introduciendo fallas que no tienen en cuenta la variabilidad estadística de los parámetros del circuito. En los trabajos de Peralta et al (2007, 2009, 2011), se tienen en cuenta estas variaciones y se evalúa la estrategia desde las visiones comportamental y estructural. Sin embargo, la misma se realiza mediante el uso de ecuaciones que caracterizan el transitorio y que suponen comportamiento ideal de todos los componentes del circuito. En este trabajo se realiza un estudio más profundo, orientado a una tecnología de fabricación específica, que tiene en cuenta el comportamiento no ideal de todos los componentes. En particular, se evalúa la capacidad de TRAM para la detección de fallas paramétricas en los componentes pasivos del circuito bajo test utilizando un modelo de simulación mucho más detallado que en los trabajos previos.

TRAM: Conceptos y filtro bajo prueba

TRAM es una metodología de test para filtros de segundo orden que propone el monitoreo de parámetros característicos de una respuesta subamortiguada a un estímulo determinado. Este estímulo puede ser una señal escalón, rampa o parábola dependiendo de las características del filtro (pasa-bajos, pasa-altos, etc.). Es esperable que una falla en los componentes del filtro resulte en desviaciones de dichos parámetros. Usualmente, el tiempo al pico (T_p) y la sobre-elongación relativa (%OS) son evaluados (Calvano et al, 1999, 2000). Un filtro determinado es declarado defectuoso si estos parámetros presentan valores por fuera de los límites preestablecidos. T_p y OS pueden identificarse en la Figura 1, que representa la respuesta transitoria típica de un filtro de segundo orden pasa-bajos a

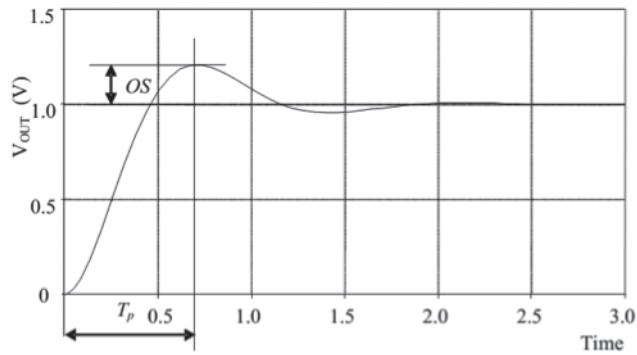


Fig. 1. Respuesta subamortiguada típica de un sistema de segundo orden

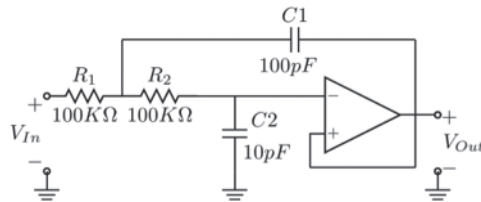


Fig. 2. Filtro activo pasa-bajos de topología Sallen-Key

una señal escalón. Estos parámetros guardan una relación directa con los parámetros característicos de la respuesta en frecuencia del filtro, conocidos como parámetros directos (Calvano et al, 1999), a saber el factor de selectividad Q , la frecuencia de polo ω_0 y el coeficiente de amortiguamiento ζ obtenido como $1/2Q$ (Ogata; 2002).

Respuesta subamortiguada típica de un sistema de segundo orden

La topología Sallen-Key mostrada en la Figura 2 es ampliamente utilizada para implementar filtros de segundo orden. Sus parámetros funcionales (Q , ω_0 y ζ) dependen del valor de los componentes pasivos del circuito según (1-3), y las características de la respuesta temporal pueden ser calculadas a partir de estos parámetros mediante las expresiones (4) y (5). Cabe destacar que (1) a (5) han sido obtenidas considerando al amplificador operacional como ideal.

Filtro activo pasa-bajos de topología Sallen-Key

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (1)$$

$$Q = \sqrt{\frac{C_1 R_1 R_2}{C_2}} \frac{1}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

$$\zeta = \sqrt{\frac{C_2}{4C_1 R_1 R_2}} (R_1 + R_2) \quad (3)$$

$$OS = e^{-\pi \left(\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \right)} \cdot 100\% \quad (4)$$

$$T_p = \pi / (\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}) \quad (5)$$

Diseño del amplificador operacional y transferencia del filtro

Para implementar el filtro bajo prueba, se diseñó un amplificador operacional (Op Amp) en una tecnología CMOS de 500nm. Para reducir la resistencia de salida del mismo y aumentar la capacidad de corriente, se agregó una etapa de salida *push-pull* complementaria en configuración seguidor de fuente (*source follower*). En la Figura 3 puede verse el circuito esquemático a nivel transistor del amplificador diseñado, donde las etapas diferencial y de ganancia esta compuestas por los transistores M1 a M7, compensadas mediante la red Rc-Cc, y la etapa *push-pull* de salida conformada por los transistores M9 a M12.

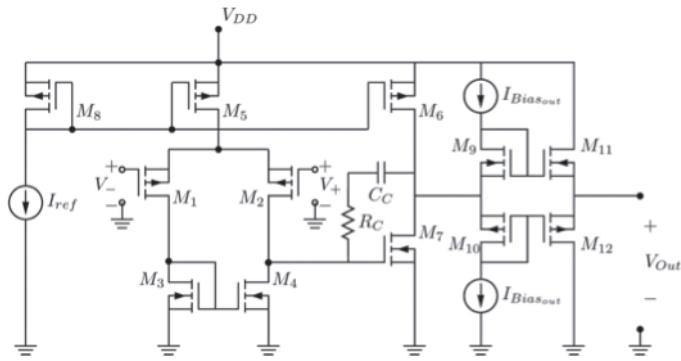


Fig. 3. Circuito esquemático del amplificador operacional diseñado para sintetizar los filtros

Parámetro	Valor
A_{v0}	100 dB
GBP	2,018 MHz
R_{out} (Lazo Abierto)	800 Ω
SR+/SR- (<i>Small Signal</i>)	0,9 / -0,75 $\mu\text{V}/\text{sec}$
Output Swing (V_{min} / V_{max})	-1,06 / 1,39 V

Tabla 1. Resultados de la Caracterización del OpAmp

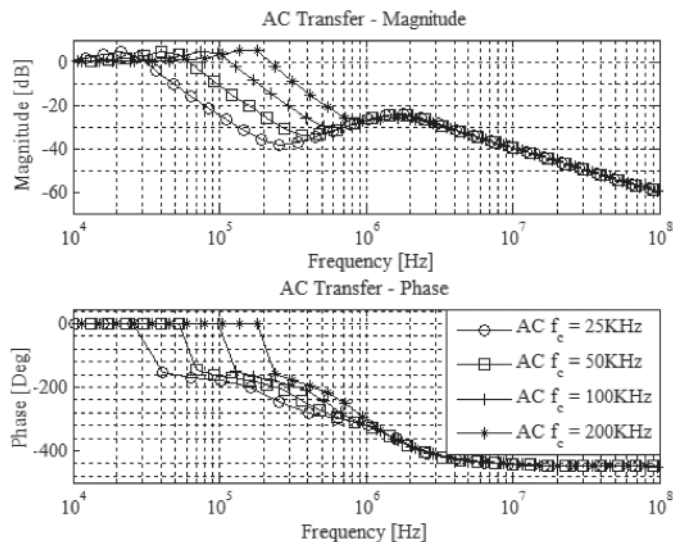


Fig. 4. Respuesta en frecuencia de filtros sintetizados con diferentes frecuencias de corte

La referencia de corriente es una referencia de VT (Tensión Térmica) de 10 μA . Se realizaron simulaciones exhaustivas para caracterizar el circuito diseñado, obteniéndose los resultados que constan en la Tabla 1.

La Figura 4 representa la respuesta en frecuencia de 4 filtros diseñados con la misma topología, en magnitud y fase, para distintas

frecuencias de corte. Puede apreciarse la influencia de los ceros en alta frecuencia que resultan de la resistencia de salida no nula del amplificador real. Para frecuencias de corte elevadas, estas no idealidades introducen desviaciones en los valores esperados de los parámetros del filtro y, más importante para este trabajo aún, las fallas paramétricas influyen en forma diferente sobre los paráme-

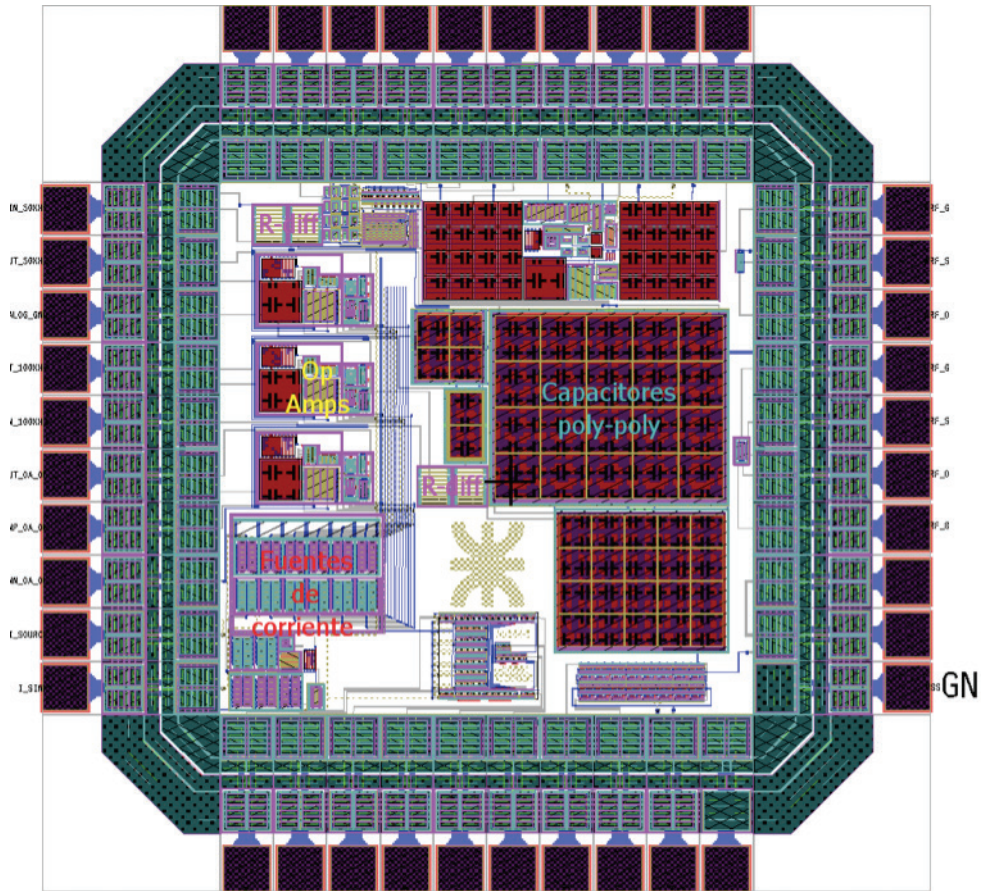


Fig. 5. Vista de layout del circuito integrado con distintos filtros sintetizados

tros de test para cada caso, a tal punto que se requieren diferentes métodos estadísticos para el estudio de la estrategia de *testing*. Para este trabajo, un filtro pasa-bajos de frecuencia de corte 50KHz fue elegido como filtro bajo prueba para la evaluación de TRAM, puesto que presenta influencias virtualmente nulas debido a las no idealidades del amplificador y los valores de los componentes son lógicos desde la viabilidad de la integración en la tecnología de fabricación bajo estudio (considerando el gran área de silicio requerido para integrar capacitores y resistores).

El filtro sintetizado fue diseñado para ser integrado y enviado a fabricar en un chip de 1,5mm x 1,5mm de área, con el objetivo de obtener mediciones a futuro sobre el comportamiento del mismo para contrastar con los límites obtenidos durante la evaluación de la calidad de TRAM. El layout del circuito integrado puede apreciarse en la Figura 5, donde se destacan los capacitores integrados como los componentes más demandantes en lo que respecta a área de silicio requerida.

Procedimiento de evaluación de la calidad de TRAM

Parámetros de test (TPs) y Límites de Tolerancia Estadísticos (LTE)

Para poder evaluar la capacidad de TRAM de detectar fallas paramétricas, es necesario, en primera instancia, determinar el rango de valores que los parámetros de test (T_p y %OS en este trabajo) pueden adoptar debido a variaciones estadísticas inherentes al proceso de fabricación. Para este fin, se implementaron simulaciones de Monte Carlo de 5000 corridas en SPICE, teniendo en cuenta las bandas de tolerancia relativas (al valor nominal del componente) especificadas por el fabricante para los componentes integrados: 37% en distribución normal a 3σ (3 desvíos estándar) para los resistores difundidos en N-well, y 11% en distribución normal a 3σ para los capacitores coplanarios *poly-poly*. Para cada corrida de Monte Carlo, se relevó la respuesta temporal del filtro ante una excitación escalón, con un valor pseudo-aleatorio para cada componente

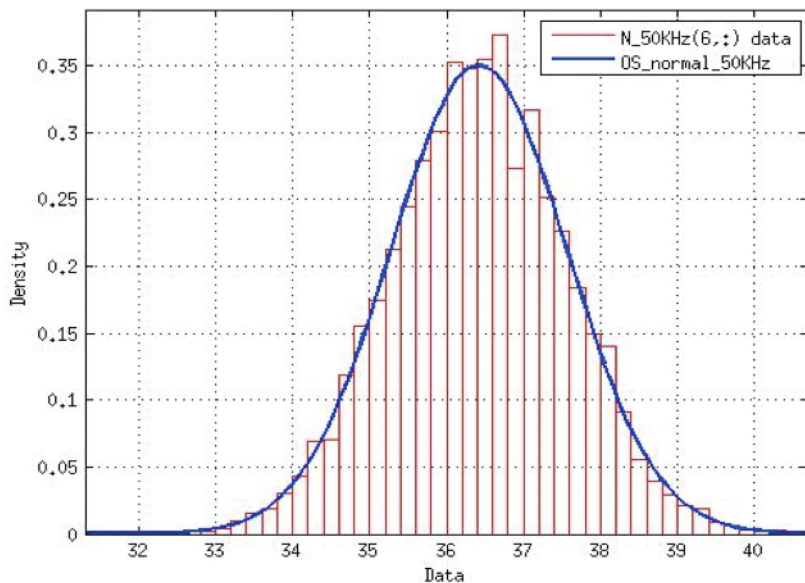


Fig. 6. Histograma y ajuste (Normal) de la distribución muestral del %OS

considerando la distribución especificada, y se obtuvo el valor de los TPs. Sobre el espacio muestral obtenido se realizó un Análisis Exploratorio de Datos y se emplearon test de normalidad para verificar que los TPs siguen una distribución Normal. Algunas de las herramientas utilizadas con este fin son las gráficas cuantil-cuantil (Q-Q), los histogramas y los test de normalidad.

La Figura 6 es el histograma de la distribución resultante de las muestras tomadas para el %OS, mientras que la Figura 7 es la gráfica Q-Q del mismo parámetro para filtro bajo prueba. El estudio visual de los histogramas no suele ser suficiente para inferir sobre la distribución de la población, pero su utilización conjunta con las gráficas Q-Q permite plantear una primera hipótesis de normalidad para el espacio muestral. Estas gráficas comparan cómo se distribuyen los cuantiles de la muestra bajo estudio con los cuantiles de una distribución normal (recta discontinua en las gráficas). Cuanto la distribución de los cuantiles más se asemeja a la recta normal, se puede inferir con mayor seguridad una distribución normal para la población bajo estudio. Para los parámetros analizados, se pueden apreciar pequeños sesgos (asimetrías, apreciables por los desvíos de los cuantiles hacia arriba y abajo en los extremos de la recta) o las llamadas "colas pesadas" (mayor probabilidad de valores lejanos a la media). Sin

embargo, no presentan desviaciones apreciables, lo cual es verificado posteriormente de forma analítica.

La verificación analítica de normalidad se realizó mediante 3 tests de bondad de ajuste: Anderson-Darling, Jarque-Bera y Lilliefors, que hacen hincapié en distintas características de la distribución normal a la hora de inferir normalidad de una muestra, como ser su sesgo, curtosis o influencia de muestras muy lejanas a la media (outliers) (Montgomery, 2003). Los resultados de estos tests pueden apreciarse en la Tabla 2 para el %OS, en la que se hallan los p-valores resultantes del test (p) que se utilizan como elemento de decisión, el valor del estadístico k de prueba calculado para cada test y el valor crítico de este estadístico que resultaría en un rechazo de la hipótesis nula. Del mismo modo, para el parámetro T_p , los resultados se muestran en las Figuras 8 y 9 y en la Tabla 3. Los resultados indican que no se puede rechazar, con un 95% de certeza, la hipótesis nula de que la población de valores de los TPs analizados se ajusta a una distribución normal.

Con esta inferencia verificada, para una muestra que puede considerarse de distribución Normal, los LTE superior e inferior (USTL y LSTL de sus siglas en inglés) pueden ser calculados mediante (6) y (7), donde N es el tamaño de la muestra, p es la proporción

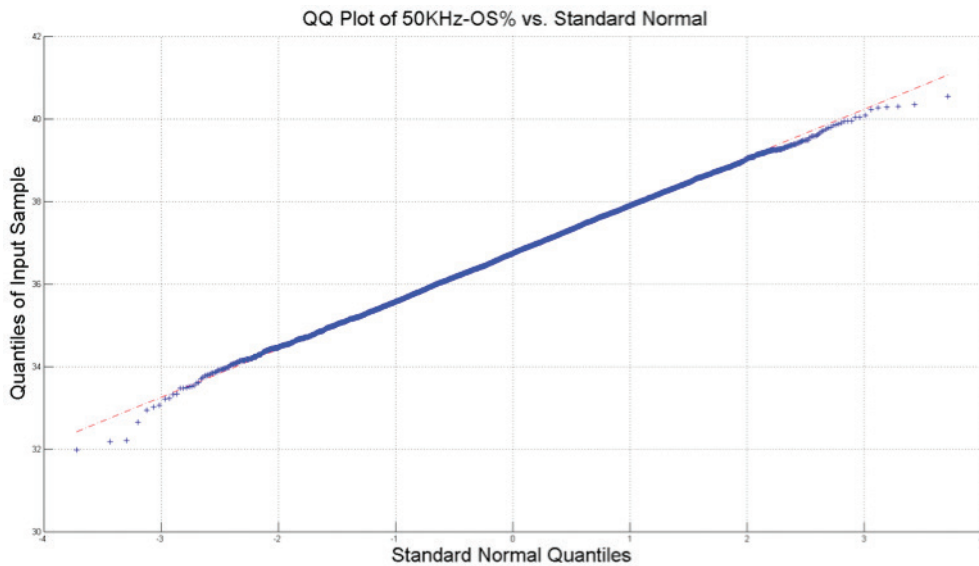


Fig. 7. Curva Q-Q de los datos muestrales del %OS

TEST	Decisión	h [1=Fail]	p	k	C
Anderson-Darling	$p > 0.05$	0	0.6479	0.2859	0.7518
Jarque-Bera	$p > 0.05$	0	0.4502	1.5464	5.9810
Lilliefors	$p > 0.05$	0	0.5000	0.0076	0.0128

Tabla 2. Resultados de las pruebas de bondad de ajuste Normal para el %OS

TEST	Decisión	h [1=Fail]	p	K	c
Anderson-Darling	$p > 0.05$	0	0.3350	0.4164	0.7518
Jarque-Bera	$p > 0.05$	0	0.1129	4.3283	5.9810
Lilliefors	$p > 0.05$	0	0.2886	0.0099	0.0128

Tabla 3. Resultados de las pruebas de bondad de ajuste Normal para el Tp

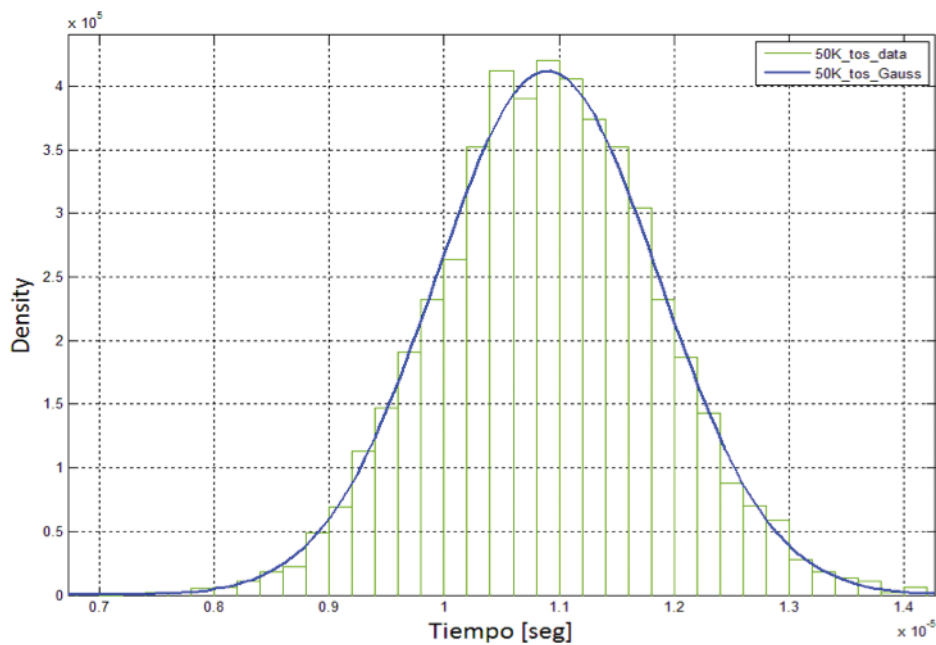


Fig. 8. Histograma y ajuste (Normal) de la distribución muestral del Tp

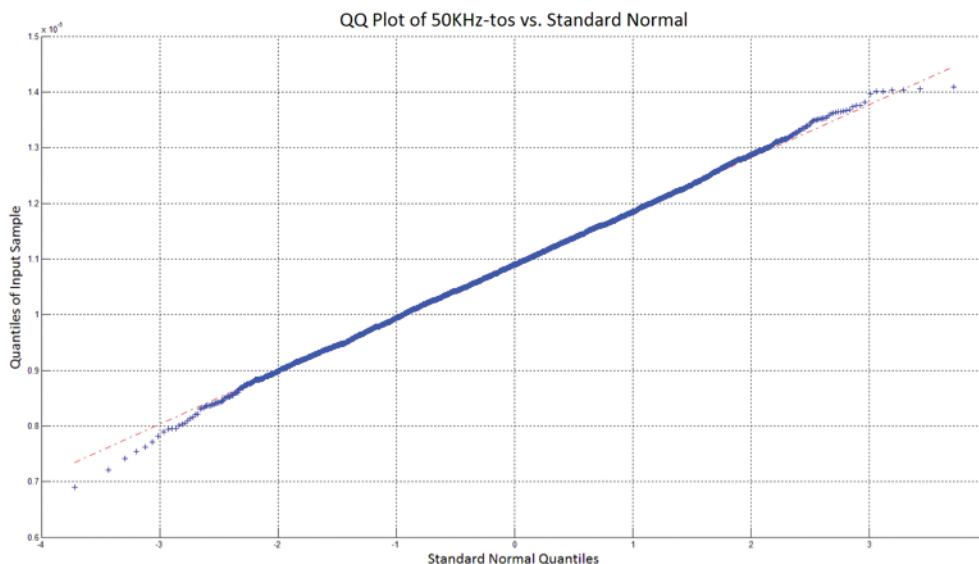


Fig. 9. Curva Q-Q de los datos muestrales del T_p

de la población normalmente distribuida que será contenida dentro de los LTE calculados y γ (gamma) la confianza de esta asunción según la distribución Chi-Cuadrado. Para el presente trabajo, se estableció que el 99% de la población esté contenida entre los límites de tolerancia con un 95% de confianza. En la Tabla 4 se detallan los valores obtenidos para los LTE para las muestras evaluadas de cada parámetro.

$$LSTL = \bar{X} - k_2\sigma \quad USTL = \bar{X} + k_2\sigma \quad (6)$$

$$k_2 = \sqrt{\frac{(N-1)\left(1 + \frac{1}{N}\right)z_{(1-p)/2}^2}{\chi_{1-\gamma, v}^2}}$$

con $v = (N - 1)$ (7)

Modelo de falla y procedimiento de inyección de fallas

El objetivo de este trabajo es evaluar, con un modelo de simulación más realista que los previamente utilizados, la capacidad de TRAM para detectar fallas paramétricas en los componentes pasivos del filtro. Para este fin, es necesaria la adopción de un modelo de fallas.

Se adoptó el modelo utilizado por Sunter (1999) y Liu (2000), que considera que solo un componente puede presentar fallas mientras todos los demás adoptan valores aleatorios dentro de las tolerancias del proceso de fabricación (Saab, 2000), aseguradas por el proveedor de la tecnología. La falla es introducida asignando al componente fallado un valor determinístico por encima o por debajo de su valor nominal esperado. Puntualmente, para este estudio se evaluaron desviaciones desde un 10% hasta un 50% por encima y por debajo del valor nominal del componente diseñado.

Para cada falla inyectada, los TPs son nuevamente evaluados mediante campañas intensivas de simulación de Monte Carlo, y compa-

Parámetro	LSTL	USTL
T_D	8.36 μ sec	13.40 μ sec
%OS	33.723 %	39.743 %

Tabla 4. LTE Superior (USTL) e Inferior (LSTL) del proceso

rados, en cada corrida, con los LTE obtenidos previamente. Si al menos un TP presenta un valor por fuera de los límites calculados, la falla es considerada como detectada. La Probabilidad de Detección de Falla (FDP de sus siglas en inglés) puede definirse como en (8), donde NDF es el número de fallas detectadas y NIF el número total de fallas inyectadas. Es esperable una mejora en la FDP si se evalúa más de un TP al mismo tiempo, pero debe considerarse la relación de compromiso entre el costo de test asociado al monitoreo de diversos TPs al mismo tiempo y el incremento de la FDP.

La FDP es una métrica muy específica para cada componente evaluado. En cambio la Cobertura de Fallas (FC) otorga una mejor visión de la calidad del método, y puede ser calculada mediante (9) (Khouas, 2000), que representa un promedio donde m es la cantidad de componentes considerado en el análisis, i representa para cada componente y j el valor de la desviación relativa en su valor. Este promedio permite determinar una caracterización más general de la calidad de la estrategia de test.

$$FDP = \frac{NDF}{NIF} \quad (8)$$

$$FC\%_j = \frac{\sum_i FDP_{ij}}{m} \quad (9)$$

Resultados de la inyección de fallas

De la Figura 10 a la Figura 13 se observan las FDP para cada componente y TP bajo análisis. La Tabla 5 junto con la Figura 14 muestra la FC considerando un promediado de los resultados de todos los componentes involucrados. El signo "+" representa la evaluación conjunta de ambos TPs, considerando una falla como detectadas toda vez que uno de ellos adopta un valor por fuera de los LTE (suma lógica, OR) (Mitra, 1998).

Estos resultados y, particularmente la representación de los mismos, permiten tomar decisiones de compromiso en el intercambio entre costo y tiempo de test y la cobertura de fallas del mismo. Puede verse que para resistores o capacitores únicamente, considerar ampos TPs no provee un incremento considerable en la FDP, pero al analizar la cobertura general para el circuito bajo estudio considerando todos los componentes, se obtienen valores considerablemente mayores en la FC, especialmente para desviaciones por debajo del 30%. Cabe destacar que, en el caso de los resistores, la alta incertidumbre en la resistencia por cuadrado debida al proceso de fabricación atentan contra la calidad del test en la detección de las fallas, mientras que para los capacitores, variaciones relativamente pequeñas pueden ser detectadas sólo con monitorear el %OS.

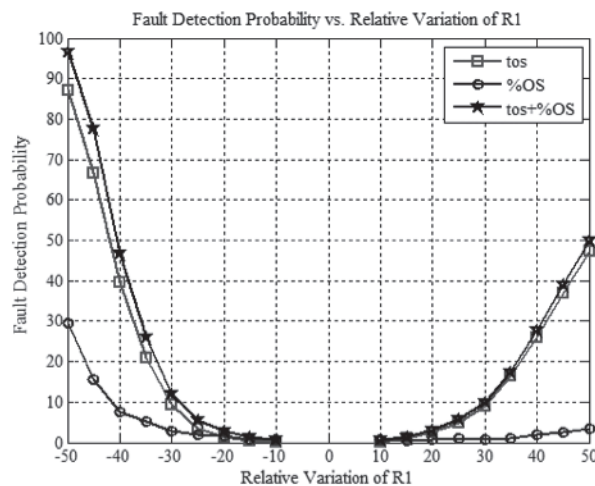


Fig. 10. FDP en función de la variación relativa de R1

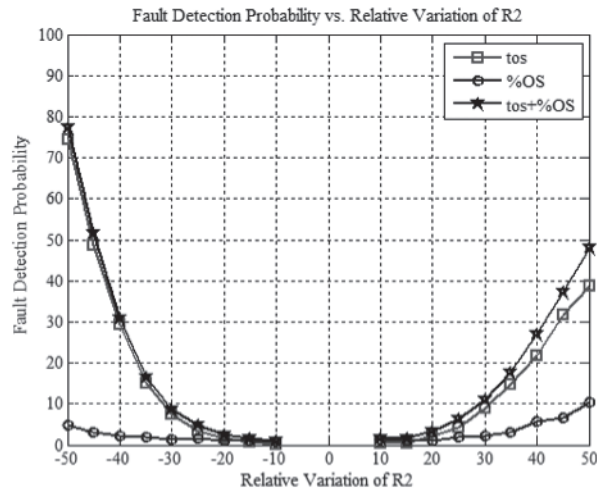


Fig. 11. FDP en función de la variación relativa de R2

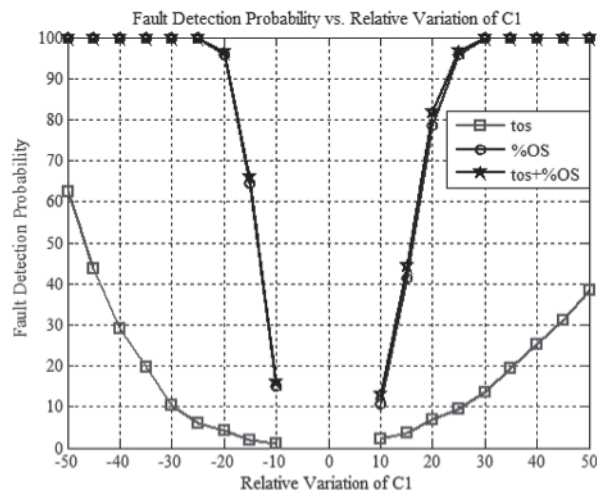


Fig. 12. FDP en función de la variación relativa de C1

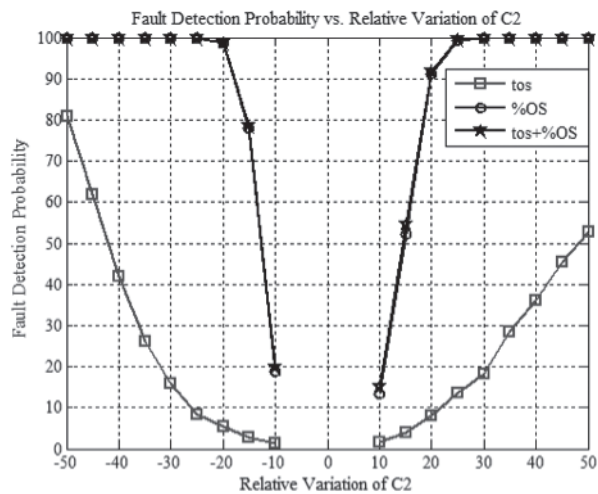


Fig. 13. FDP en función de la variación relativa de C2

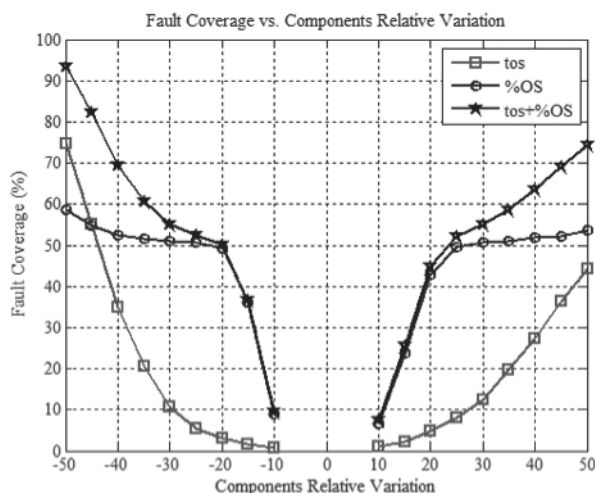


Fig. 14. FC en función de la variación relativa de los 4 componentes, para dos TPs

TPs	Variación relativa de los componentes									
	50%	45%	40%	35%	30%	25%	20%	15%	10%	
T_p	44.3	36.2	27.0	19.7	12.5	8.0	4.9	2.3	1.1	
%OS	53.5	52.3	51.9	51.0	50.7	49.5	42.84	23.8	6.5	
$T_p + \%OS$	74.5	69.1	63.7	58.7	55.2	52.1	45.0	25.4	7.6	
TPs	Variación relativa de los componentes									
	-10%	-15%	-20%	-25%	-30%	-35%	-40%	-45%	-50%	
T_p	0.7	1.5	3.1	5.3	10.8	20.5	35	55.3	74.6	
%OS	8.8	36.1	49.2	50.8	51.1	51.7	52.5	54.7	58.6	
$T_p + \%OS$	9.42	36.8	50.1	52.5	55.2	60.6	69.4	82.3	93.5	

Tabla 5. Cobertura de fallas (FC%) considerando todos los componentes para distintas variaciones respecto del valor nominal

Conclusiones

En este trabajo se presenta la evaluación de la capacidad de TRAM para la detección de fallas paramétricas en un filtro de segundo orden. El objetivo de este trabajo ha sido la determinación más precisa de esta capacidad, mediante modelos de simulación más exactos que los utilizados en trabajos previamente reportados. Para este propósito se diseñó un filtro en tecnología CMOS de 500nm con un enfoque totalmente a medida (*full custom*) y se lo adoptó como caso de estudio. Se utilizaron los modelos de simulación SPI-CE a nivel transistor para los procedimientos de inyección y simulación de fallas. Esto marca una diferencia considerable con los trabajos previos que consideraban fallas paramétricas pero utilizaban simulaciones a nivel de ecuaciones.

Nuestros resultados de simulación han evidenciado (confirmando resultados previos en el nivel comportamiento) los problemas que presenta esta estrategia para la detección de fallas para-

métricas pequeñas. Estos resultados sugieren la necesidad de monitorear otros parámetros de la respuesta transitoria para intentar mejorar tanto la FDP como la FC.

A futuro se profundizarán los estudios, incluyendo fallas en los transistores del amplificador operacional (catastróficas y de desviación) y se ampliará la evaluación incluyendo otros atributos de test.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Silvio Tapino, Patricio Fernández Canto y Basilio Robino (UTN-FRBA) por las discusiones inspiradoras mantenidas durante el desarrollo del presente trabajo. La investigación que dio lugar a estos resultados recibió financiamiento por parte de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires a través del Proyecto de Investigación y Desarrollo número UTN2166, dirigido por Sebastián Verrastro (UTN-FRBA).

Referencias

- CALVANO, J.; ALVES, V. y LUBASZEWSKI, M., (1999) "Fault detection methodology for second order filters using compact test vectors transient analysis", en Proceedings of the 3rd International Workshop on Design of Mixed-Mode Integrated Circuits and Applications, pp. 1824, Puerto Vallarta, Mexico.
- CALVANO, J.; ALVES, V. y LUBASZEWSKI, M., (2000) "Fault detection methodology and BIST method for 2nd order Butterworth, Chebyshev and Bessel filter approximations", en Proceedings of the 18th IEEE VLSI Test Symposium (VTS '00), pp. 319-324.
- CALVANO, J.; MESQUITA FILHO, A.; ALVES, V. y LUBASZEWSKI, M., (2001) "Faults Models and Test Generation for Op Amp-the FFM", J. Electron. Test: Theory Appl, Vol. 27, pp. 121-138.
- CHATTERJEE, A. y NAGI, N., (1997) "Design for testability and built-in self-test of mixed-signal circuits", in Proceedings of the 10th International Conference on VLSI Design, pp. 388-392.
- KHOUS, A. y DERIEUX, A., (2000) "Fault Simulation for Analog Circuits Under Parameter Variations". Journal of Electronic Testing: Theory and Applications Vol. 16, pp. 269-278.
- LIU, F. y OZEV, S., (2007) "Statistical Test Development for Analog Circuits under High Process Variations", IEEE Trans. Comput. Aided Des. Integr. Circuits Syst., Vol. 26, pp. 1465-1477.
- MITRA, A., (1998) Fundamentals of Quality Control and Improvement. Upper Saddle River, New Jersey, US: Prentice Hall, 2nd. Edition.
- MONTGOMERY, D. C. y RUNGER, G. C., (2003) "Applied Statistics and Probability for Engineers". New York, US: John Wiley & Sons, Inc., 3ra. Edición.
- OGATA, K., (2002) Modern Control Engineering, 4ta. Edición, New York: Prentice Hall.
- PERALTA, J.; PERETTI, G. y ROMERO, E., (2007) "Evaluación del Análisis de Respuesta Transitoria Bajo Condición de Falla Paramétrica". Actas XIII Taller Iberchip.
- PERALTA, J.; PERETTI, G. y ROMERO, E., (2007) "Capacidad del Test Basado en Análisis de Transitorio para Detectar Fallas Paramétricas". Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, Vol. 15 N° 2, pp. 124-131.
- PERALTA, J.; PERETTI, G.; ROMERO, E. y MARQUÉS, C., (2009) "A new performance characterization of transient analysis method", International Journal of Electrical and Information Engineering, vol. 3, pp. 251-258.
- SUNTER, S. y NAGI, N., (1999) "Test Metrics for Analog Parametric Faults", in Proceedings of the 17th. VLSI Test Symposium, pp. 226-234.
- SAAB, K.; BEN-HAMIDA, N. y KAMINSKA, B., (2000) "Parametric fault simulation and test vector generation". Proceedings of the Conference on Design, Automation and Test in Europe pp. 650- 657.
- SOMA, M., (1990) "A design-for-test methodology for active analog filters", in Proceedings of the IEEE International Test Conference, pp. 183-192.
- VAZQUEZ, D.; RUEDA, A. y HUERTAS, J., (1994) "A new strategy for testing analog filters", in Proceedings of the 12th. VLSI Test Symposium, pp. 36-41.
- VINNAKOTA, B., (1998) "Analog and Mixed-Signal Test", Prentice Hall, New York, United States.

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.

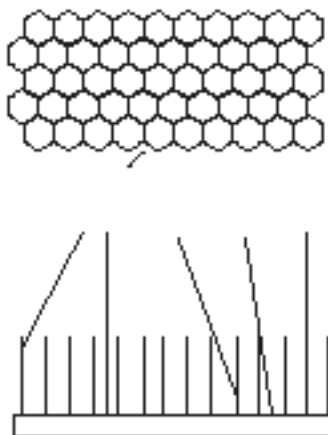


Fig. 1. Ejemplo de ubicación de la figura y su leyenda explicativa (centrada, en negrita y fuente 10)

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.



UTN.BA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES

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



UTN.BA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES

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



UTN.BA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES

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



UTN.BA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES