

Proyecciones

Volumen 12
Número 2
Octubre, 2014

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 12
Número 2
Octubre, 2014

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 descripta en las Instrucciones para la Presentación de Artículos.

Esta publicación cuenta también con una versión en línea, a la cual se puede acceder ingresando en el sitio 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

- 7 Editorial**
- 9 Presentación**
- 13 Invarianza de las propiedades mecánicas de la pared arterial: análisis *In Vitro* e *In Vivo***
Franco Pessana, Daniel Bia, Yanina Zócalo, Leandro Cymberknop, Ricardo Armentano
- 23 Diseño de un pre-amplificador de potencia en 2,4 GHz mediante el uso de tecnología de microtiras**
Cristian Germán Huaco Olcese, Carlos Mario Puliafito, Jeremías Aliquó
- 37 Efecto de la temperatura sobre la transferencia de agua durante la deshidratación osmótica de papa (*Solanum tuberosum* L.)**
Reynaldo J. Silva Paz, Patricia A. Della Rocca, Osvaldo D. Tisocco, Rodolfo H. Mascheroni
- 45 La importancia analítica de las reacciones umbral en análisis por activación neutrónica y los problemas de disponibilidad, trazabilidad y consistencia de los datos nucleares**
Isaac Marcos Cohen
- 55 Pedagogía móvil y entorno colaborativo: una alternativa a los procesos de enseñanza y aprendizaje**
Oscar R. Bruno
- 69 Factores que influyen en el crecimiento de la biomasa algal**
Maximiliano Argumedo Moix, Paola Álvarez, Ricardo Mateucci, Victor Bustos, Patricia Della Rocca
- 75 Modelo para la determinación de los parámetros reológicos de un aderezo saludable considerando la influencia de la temperatura**
Susana N. Santana, Agustina M.E. Zangrando, Alejandro Hayes, Rosa Breier, Ricardo R. Mateucci
- 83 Caracterización tecnológica de morteros y hormigones con escombros de albañilería triturados y molidos. Parte II**
Rubén A. López, Marcelo A. Masckauchan, Carlos A. Di Salvo, José L. Verga, Alfredo M. Graich

Editorial

Estimados lectores de “Proyecciones”,

Encaramos el último tramo de este productivo año 2014 con optimismo y perseverancia, sabiendo que es mucho lo que hemos hecho pero mucho más lo que nos hemos propuesto para estos próximos meses.

Con estas palabras, inauguro un número más de la revista científica de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional, lo que no es poca cosa: número a número se consolida “Proyecciones”, y junto con ella la cantidad de publicaciones en revistas científicas por parte de nuestros equipos de investigación. A esto se suman las patentes y los desarrollos tecnológicos que impulsan nuestros investigadores, y los cientos de docentes, estudiantes y graduados que se involucran en actividades de investigación.

Recientemente, organizamos en la Facultad las Jornadas de Investigación del 2014, que reunió a importantes investigadores de la casa e invitados, y que fue encabezada por el Ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación Dr. Lino Barañao. En estas Jornadas se discutió respecto a algunas áreas temáticas estratégicas para el desarrollo nacional y por lo tanto para nuestra Facultad, así como también se expusieron los proyectos de I+D que actualmente cuenta la FRBA.

Como escribo siempre que abro estas páginas, todo esto es posible gracias al trabajo, el esfuerzo y el talento de personas concretas.

Quiero agradecer y felicitar a los autores cuyos trabajos fueron aceptados para este número, al Director, el Comité Editorial y al Consejo Editorial de “Proyecciones”, cuyo esfuerzo tiene los resultados que están a la vista, y a todos aquellos que desarrollan actividades de investigación y desarrollo en nuestra Facultad.

A todos ellos, muchas gracias.

Presentación

La edición de este número de Proyecciones coincide con la realización de las II Jornadas de Proyectos de investigación de la UTN FRBA en las que se presentaron los proyectos del Programa de I+D+i¹. Un total de ochenta y siete trabajos correspondientes a “Análisis de señales, modelador y simulación”, “Ingeniería clínica y bioingeniería”, “Electrónica, Informática y Comunicaciones”, “Energía”, “Ingeniería de procesos y de Productos”, “Materiales”, “Medio Ambiente, Contingencias y Desarrollo Sustentables”, “Tecnología de los alimentos”, “Transporte y vías de comunicación”, “Estructuras y Construcciones civiles”, “Tecnología de las organizaciones” y a “Tecnología Educativa y enseñanza de la Ingeniería” integraron las jornadas.

Además, deseamos compartir con ustedes que, como resultado de los esfuerzos que se vienen desarrollando en la FRBA, se ha incrementado por encima del 100% la cantidad de proyectos acreditados lo que implica la presencia de más de novecientos investigadores entre profesores, graduados y estudiantes que están involucrados en actividades de I+D+i.

Muchos de esos proyectos han generado y generan artículos que se publican en los diferentes números de Proyecciones permitiendo de esta forma, difundir los avances que nuestros investigadores van logrando a diario.

Este número comienza con el trabajo *“Invarianza de las Propiedades Mecánicas de la Pared Arterial: Análisis In Vitro e In Vivo”* que forma parte de los resultados de la tesis “Ingeniería Cardiovascular: Efecto de la Interacción Pared-Flujo sobre las Propiedades Mecánicas de las Arterias” elaborada por Franco Pessana y dirigida por el Dr. Ricardo Armentano, para acceder al grado de Doctor por la Universidad de Buenos Aires. En el artículo se presenta una forma para determinar la invarianza temporal de las propiedades mecánicas de la pared arterial en el corto plazo. Para evaluarlas se utilizó un modelo lineal auto regresivo sustentado en la medición de señales de presión y diámetro en segmentos arteriales frescos.

El siguiente trabajo escrito por Cristian G. Huaco Olcese, Carlos M. Puliafito y Jeremías Aliquó, se titula *“Diseño de un pre-amplificador de potencia en 2.4 GHz mediante el uso de tecnología de microtiras”*. En su desarrollo se presenta la utilización de tecnología de microtiras para la construcción de un pre-amplificador de potencia en microondas que opera en la frecuencia de 2,4 GHz. Los resultados obtenidos permitieron corroborar que se cumple con los factores de estabilidad, potencia de salida y respuesta en la banda solicitada, aunque se vio reducida la ganancia. Lo cual permite afirmar que, más allá de esa limitación, se cumple con las condiciones de diseño.

El siguiente artículo de Isaac M. Cohen se denomina *“La importancia analítica de las reacciones umbral en análisis por activación neutrónica y los problemas de disponibilidad, trazabilidad y consistencia de los datos nucleares”*. En él se demuestra que la realización del citado análisis, a partir de métodos de activación en reactores nucleares, debe incluir la consideración de la influencia de las reacciones inducidas por la componente rápida del espectro neutrónico. Es decir, el grado en que los resultados se afectan a partir de las reacciones umbral que pueden producirse. Cuando se aplican métodos paramétricos, se debe contar con valores confiables sobre secciones eficaces. De allí, la necesidad de actualización de valores históricos y de disponer de

¹ Investigación, Desarrollo e innovación

tablas de datos para su utilización con fines analíticos.

Le sigue el aporte de los autores Reynaldo J. Silva Paz, Patricia A. Della Rocca, Osvaldo D. Tisocco y Rodolfo H. Mascheroni, basado en un trabajo experimental realizado en los laboratorios de esta casa de estudios, en asociación con otras dos universidades nacionales. En el mismo se analiza la influencia de la temperatura sobre la velocidad de secado de papas, mediante la aplicación de la deshidratación osmótica, obteniéndose valores de las respectivas difusividades. Se proponen diversos modelos, sus ecuaciones de correlación y su ajuste. Se titula *“Efecto de la temperatura sobre la transferencia de agua durante la deshidratación osmótica de papa (Solanum tuberosum L.)*.

A continuación se presenta un artículo sobre enseñanza elaborado por Oscar R. Bruno y titulado *“Pedagogía móvil y entorno colaborativo: una alternativa a los procesos de enseñanza y aprendizaje”*. Se basa en una investigación realizada en la FRBA que permitió evaluar una forma posible de incorporación inteligente de dispositivos móviles a la enseñanza. Sus resultados buscan transformarse en una guía profesional para todos los interesados en el uso y aprovechamiento de tecnología móvil en el diseño de nuevas experiencias orientadas hacia cambios en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

El siguiente trabajo denominado *“Factores que influyen en el crecimiento de la biomasa algal”* tiene por autores a Maximiliano Argumedo Moix, Paola Álvarez, Ricardo Mateucci, Victor Bustos y Patricia A. Della Rocca. En el mismo se discuten los efectos de aquellos parámetros relevantes para la velocidad de crecimiento de la biomasa tales como la concentración inicial del inóculo, la intensidad lumínica y el modo de agitación. El conocimiento de sus respectivas incidencias es determinante para la aplicación eficiente de esta tecnología.

Luego se encuentra el artículo denominado *“Modelo para la determinación de los parámetros reológicos de un aderezo saludable considerando la influencia de la temperatura”*, siendo sus autores Susana N. Santana, Agustina M. E. Zangrando, Alejandro Hayes, Rosa E. M. de Breier y Ricardo R. Mateucci. Se muestran los resultados experimentales de la caracterización desde el punto de vista reológico de un aderezo desarrollado por los autores, dado que esta información sobre su comportamiento se requiere para su procesamiento a escala industrial. Para obtenerla se recurre a un modelo matemático de regresión polinomial a partir de los resultados experimentales.

Finalmente, se presenta la Nota Técnica llamada *“Caracterización tecnológica de morteros y hormigones con escombros de albañilería triturados y molidos. Parte II”*, aporte de Rubén A. López, Marcelo A. Masckauchan, Carlos A. Di Salvo, José L. Verga, Alfredo M. Graich. En la misma se exponen resultados experimentales, en este caso mediante la aplicación de la metodología propuesta en una nota anterior, ahora extendida a la utilización de escombros molidos para la producción de morteros y hormigones.

En virtud de estos logros es que confiamos que nuevos trabajos surgirán de los muchos y valiosos proyectos de investigación y serán publicados en Proyecciones.

Invarianza de las propiedades mecánicas de la pared arterial: análisis *In Vitro* e *In Vivo*

Franco Pessana^{1,2}, Daniel Bia³, Yanina Zócalo³, Leandro Cymberknop¹, Ricardo Armentano^{1,2,3}

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

² Universidad Favaloro, Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas y Naturales, Tte. Juan Domingo Perón 3149 (C1198AAG) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

³ Universidad de la República, Facultad de Ciencias Médicas, Av. Gral Flores 2125, Montevideo, Uruguay

franco.pessana@gmail.com

Recibido el 23 de octubre de 2013, aprobado 15 de diciembre de 2013

Resumen

La mecánica arterial, describe el comportamiento estructural y funcional de las arterias y puede caracterizar a varias enfermedades cardiovasculares. El objetivo de este trabajo fue la determinación de la invarianza temporal de las propiedades mecánicas de la pared arterial en el corto plazo, mediante la utilización de un sistema digital adaptativo. Se midieron señales de presión (Konigsberg) y diámetro (Sonomicrometría) en 10 segmentos arteriales frescos y 7 criopreservados (estudio *In Vitro*); en 20 sujetos normotensos y 12 hipertensos sin tratamiento previo (estudio *In Vivo*). Una función de transferencia diámetro/presión fue diseñada para evaluar las propiedades mecánicas usando un modelo lineal autoregresivo. Los resultados mostraron la invarianza temporal al determinar las propiedades mecánicas a partir de un análisis latido a latido (20 a 40 latidos) y mediante el esquema de latido único interpolado. Esta invarianza puede permitir la determinación de las propiedades mecánicas a corto plazo del sistema arterial (en situaciones estables), utilizando el método de latido único interpolado, reduciendo de esta manera tiempos de cálculo y análisis de datos.

PALABRAS CLAVE: PARED ARTERIAL HUMANA – CRIOPRESERVACIÓN – INVARIANZA TEMPORAL – SISTEMA ADAPTATIVO

Abstract

Arterial wall mechanics describes arteries' structural and functional behaviour and it can characterize several cardiovascular diseases. The main objective of this work was the determination of the time invariance arterial – wall properties in the short time using a digital adaptive system. Pressure (Konigsberg) and diameter (sonomicrometry) signals were assessed in 10 fresh artery segments and 7 cryopreserved (*in – vitro* study); in 20 normotensive and healthy humans and in 12 essential hypertensive human without previous treatment (*in – vivo* study). A diameter – pressure transfer function was designed for evaluating the wall dynamics using a linear autoregressive model. Results showed time invariance of wall mechanical properties using a beat to beat analysis (20 to 40 beats) and by means of interpolated beat assessment. This time invariance could improve the assessment of arterial – wall mechanical properties in the shot time (stable situations), by using the one – beat interpolated method and then, reducing time and data analysis.

KEYWORDS: HUMAN ARTERIAL WALL – CRYOPRESERVATION – TIME INVARIANCE – ADAPTIVE SYSTEM

Introducción

La mecánica de la pared arterial, caracteriza el comportamiento estructural y funcional de las arterias y puede explicar muchas enfermedades cardiovasculares, como por ejemplo, la enfermedad coronaria (coronary heart disease) y la hipertensión [1-5]. Además, las propiedades mecánicas de las arterias pueden describirse en diferentes territorios, incluso aún en venas y en procedimientos de criopreservación [6,7].

Para determinar con exactitud los componentes de la pared arterial (índices de elasticidad, viscosidad y masa, frecuencia de corte de la pared, función de filtrado local, tiempos de arrastre y de relajación entre otros), cuya misión es la de describir su funcionamiento mecánico, son esenciales las determinaciones instantáneas de señales de presión y diámetro arterial [3],[8].

Las grandes arterias, principalmente la aorta y la pulmonar, tienen como función primordial amortiguar las oscilaciones del flujo sanguíneo (producidas por las altas frecuencias de la señal de presión del ventrículo izquierdo y derecho), con la misión de nutrir a los tejidos con un régimen de presiones y flujos constantes. Un régimen pulsátil de presión, de no ser efectivamente amortiguado por las grandes y medianas arterias, podría determinar la erosión prematura de los componentes mecánicos y funcionales de la pared arterial [9,10].

Las propiedades mecánicas de las arterias, así también como su rango dinámico, están gobernados principalmente por la viscosidad parietal (η) asociada íntimamente al músculo liso, la elasticidad parietal (E) relacionada con las fibras elásticas de elastina y colágeno y en menor medida, por la inercia de la pared (M) [11].

La caracterización viscoelástica de la pared arterial es de suma importancia en el análisis de la dinámica del sistema cardiovascular. Sin embargo, existe muy poca información respecto a la variación de las propiedades mecánicas de la pared arterial cuando se evalúa a las mismas a partir de latidos de presión y diámetros promedios (interpolados) o mediante el cálculo instantáneo latido a latido de los mismos.

Este estudio propone un abordaje promedio

(interpolación) e instantáneo (latido a latido), para la determinación de los componentes biomecánicos parietales. Para ello, se utiliza una función de transferencia (diámetro/presión) en el dominio transformado de Laplace (continuo) y de Laurent (discreto). Se utiliza un filtro digital adaptativo con respuesta al impulso infinita de manera tal de mimificar la función de transferencia entre la entrada al sistema arterial (presión) y su salida (diámetro) [4].

El objetivo de este trabajo fue la determinación de la invarianza temporal de las propiedades mecánicas de la pared arterial en el corto plazo, mediante la utilización de una transferencia digital adaptativa. Para ello, se evaluaron 2 grupos. El primero de ellos, consistente en señales de presión y diámetro (*in vitro*) de arterias carótidas frescas (ACF) y criopreservadas (ACC) y el segundo un grupo, arterias carótidas de sujetos masculinos normotensos (ACNT) e hipertensos (ACHT).

Material y métodos

Estudio *In Vitro*

Las ACF y ACC utilizadas en este trabajo, fueron obtenidas con técnicas asépticas durante el protocolo de donación de órganos y tejidos para propósitos de investigación, bajo el programa de transplantes del Banco Nacional de Órganos y Tejidos de Uruguay [12]. Las mismas, se gestaron a partir de 10 donantes con diagnóstico de muerte cerebral, con edades entre 26–46 años (media = 30,5 años). La isquemia caliente estuvo en el intervalo 4–6 horas. La isquemia fría en todos los casos fue de 4 días. Para cada donante y luego de la extracción, ambas carótidas (izquierda y derecha) fueron lavadas con solución salina y almacenadas a 4°C.

Diseño experimental, criopreservación y descongelamiento

Se establecieron los siguientes grupos:

- Grupo I: segmentos arteriales frescos (n=10).
- Grupo II: segmentos arteriales criopreservados (n=7).

Las ACC usadas en la criopreservación y el descongelamiento (Grupo II) fueron sumergidas en una solución criopreservante con RPMI

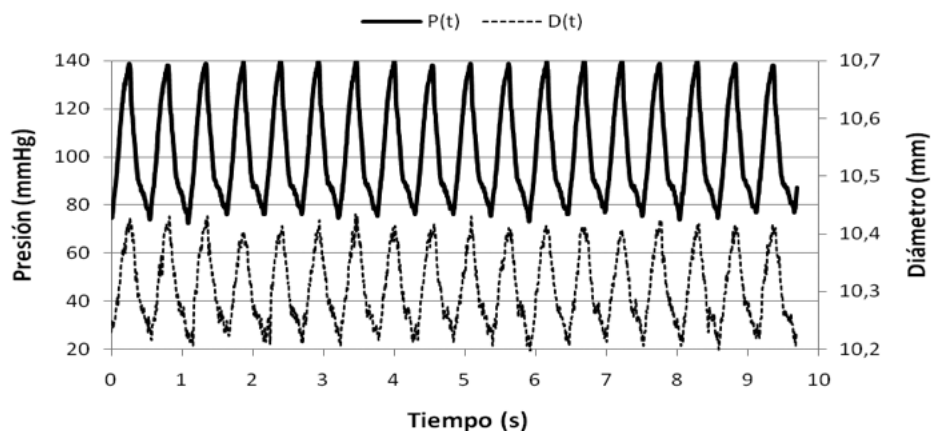


Fig. 1. Señales de presión, $P(t)$ y diámetro arterial, $D(t)$, para una arteria carótida fresca en el estudio In Vitro

1640; solución albúmina humana y óxido sulfúrico dimetalizado (OSD), en bolsas crioresistentes y selladas con una máquina térmica dentro de un gabinete de flujo laminar [12,13]. La criopreservación programada fue llevada a cabo mediante un sistema con velocidad de congelamiento programado, con una velocidad media de enfriado de $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ hasta -90°C . Las arterias congeladas fueron almacenadas durante 30 días a -142°C en vapor de nitrógeno líquido. En el último día del período de almacenamiento, los vasos fueron mantenidos a 20°C durante 30 min y luego descongelados en un baño térmico a 40°C durante otros 30 min. Una vez descongelados, el OSD fue removido por aclarado en 4 diluciones al 50%, cada una de 10 min de duración [13,14].

Sistema In Vitro

Para la caracterización mecánica, cada segmento arterial fue montado en un sistema de circulación *in-vitro* [15]. Un micro transductor de presión (P), (1200 Hz de respuesta en frecuencia, Konigsberg Instruments, Inc., Pasadena, CA) fue insertado en cada segmento arterial (ACF y ACC) mediante una incisión en la adventicia y en forma paralela a la dirección del flujo en el lumen arterial [15]. Para la medición del diámetro externo (D), fue suturado un par de cristales ultrasónicos (5MHz, 2 mm de diámetro) en la adventicia de los vasos. El tiempo de tránsito de las señales ultrasónicas (1580 m/s) fue convertido a distancia por medio de un sonomicrómetro (1000 Hz de respuesta en frecuencia, Triton Technology Inc. San Diego, CA). La posición óptima de los sensores ultrasónicos fue determinada mediante un oscilos-

copio (modelo 465B, Tektronix), [15]. El transductor de P fue previamente calibrado usando un manómetro digital de mercurio.

Protocolo Experimental

El mismo protocolo experimental fue usado para la caracterización mecánica de las arterias frescas y las criopreservadas y descongeladas. Las señales de P y D de las ACF y ACC fueron adquiridas y grabadas en régimen permanente. En todos los casos, la frecuencia de estiramiento de la bomba fue fijada en 1 Hz (60 lat/min). La bomba, Windkessel y resistencias periféricas de los tubos se regularon para generar una presión de pulso intravascular entre 144 y 68 mmHg, con una presión media de 103 mmHg, de forma tal de reproducir condiciones fisiológicas *in vivo* en las señales de P y D, como puede observarse en la Fig. 1.

Digitalización de datos

Las señales de P and D fueron visualizadas en tiempo real, digitalizadas cada 5 ms (12 bits) y almacenadas para el análisis posterior. Aproximadamente entre 20 y 30 latidos consecutivos fueron adquiridos y analizados bajo una condición de régimen permanente.

Estudio no invasivo In Vivo

20 sujetos normotensos (50 ± 13 años; índice de masa corporal (imc) 25 ± 1 kg/m^2) y 12 pacientes con media a moderada hipertensión (51 ± 7 años; imc 27 ± 3 kg/m^2 ; presiones sistólo/diastólicas entre 140–179/90–109 mmHg) y luego de un período de lavado de

4 semanas, fueron incluidos en el presente estudio. Todos los individuos fueron informados y dieron su consentimiento para el mismo, de acuerdo a las directivas del Comité Institucional para Investigación Humana del Hospital Universitario de la Fundación Favaloro.

Los estudios ecocardiográficos se realizaron en tiempo real mediante un ecógrafo ultrasónico en modo B (ATL HDI 5000, Miami Lakes, Florida) [16]. La arteria carótida común izquierda fue examinada con una sonda de 7.5-MHz, a una distancia de 3 cm próxima a la bifurcación del vaso. El haz de ultrasonido fue ajustado perpendicular a la superficie de la pared exterior del vaso de tal manera de obtener 2 líneas ecogénicas paralelas correspondientes al lumen-íntima y media-adventicia. Una vez que estas líneas ecogénicas fueron claramente visibles en el ecógrafo a lo largo de al menos 1 cm del segmento arterial a medir, se adquirió una secuencia de imágenes para la determinación de las formas de onda del diámetro arterial adquirido [16,17].

Las formas de ondas de presión de las arterias carótidas comunes, fueron determinadas con un tonómetro de aplanación (Millar Instruments Inc.) en el mismo lugar donde fue determinado el diámetro, inmediatamente después de la adquisición ecográfica [2],[16]. Las señales de presión instantáneas fueron digitalizadas cada 1 ms (12 bits). La forma de onda de la presión carotídea fue calibrada asignándole a la misma los valores de presión braquial diastólica y media. Se supone en este estudio que la presión media no cambia entre los grandes conductos arteriales y que la presión diastólica (a diferencia de la sistólica), no difiere sustancialmente entre la arteria carótida y braquial [2]. Se adquirió un electrocardiograma de superficie junto con las señales de presión y diámetro, las cuales fueron identificadas de acuerdo al complejo QRS del mismo.

Determinación de las propiedades mecánicas de la pared

Se utilizó un procedimiento computarizado para la determinación del bucle P-D y el cálculo de los parámetros mecánicos de la pared arterial (estudios *In Vitro* e *In Vivo*), usando un sistema original desarrollado en nuestro laboratorio [5]. Se realizaron 2 tipos de análisis, a saber:

- Análisis I: Procesamiento instantáneo de las

señales de P y D, detectando latidos individuales mediante el uso de derivada primera y segunda junto a umbralamientos.

- Análisis II: Cada uno de los latidos individuales detectados en el Análisis I, fue interpolado a la misma cantidad de puntos (determinada por el latido de menor duración, mediante interpolación con transformada rápida de Fourier). Los latidos interpolados a la misma duración, posteriormente fueron promediados de forma tal de obtener un latido cardíaco promedio único.

Con las señales temporales de P y D obtenidas en los análisis de latidos individuales y promedio, se utilizó un modelo lineal autoregresivo con entrada exógena (MLAE) dado por:

$$D[k] = \sum_{i=0}^{n_x} b_i P[k-i] - \sum_{j=1}^{n_y} a_j D[k-j] \quad (1)$$

siendo D el diámetro estimado, P la presión arterial y a_j y b_i los coeficientes del modelo a ser calculados. Los valores de n_x y n_y definen el orden del modelo.

El MLAE fue aplicado a los datos de entrada-salida (presión-diámetro) para determinar la dinámica del sistema arterial. De esta manera, D se estimó a partir de la entrada a este modelo, utilizando los coeficientes identificados a_j y b_i . Los parámetros para cada uno de los segmentos arteriales fueron estimados utilizando el algoritmo de mínimos cuadrados [18].

Como un caso especial del modelo (1), se consideró un modelo general de tercer orden ($n_x=n_y=3$). Este modelo fue elegido como el de orden medio, de acuerdo al criterio estadístico de Akaike sobre una población completa [19]. Considerando los coeficientes estimados $\{a_j, j=1,...,3\}$ y $\{b_i, i=0,...,3\}$, la función de transferencia de diámetro/presión (una función de transferencia de complacencia), quedó expresada en el dominio de la transformada Z como:

$$H(z) = \frac{D(z)}{P(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + b_3 z^{-3}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + a_3 z^{-3}} \quad (2)$$

La transformada bilinear inversa fue aplicada a (2) para obtener una función de transferencia continua (desde el plano z al plano s) obteniendo:

$$H_1(s) = \frac{m_3 s^3 + m_2 s^2 + m_1 s + m_0}{n_3 s^3 + n_2 s^2 + n_1 s + n_0} \quad (3)$$

Utilizando la transferencia $H_1(\omega)$, fue factible obtener una medición cuantitativa de la respuesta en frecuencia de la pared arterial se logra usando el ancho de banda de la potencia mitad (frecuencia de corte de 3 dB, f_{3dB}). El mencionado parámetro fue determinado a partir de la dependencia frecuencial entre la presión y el diámetro arterial, usando diagramas de Bode, ampliamente empleada en músculo estriado [20].

El modelo de tercer orden dado por (3), dentro del rango fisiológico, no presenta diferencias si el polo y el cero de más alta frecuencia son eliminados (coeficientes n_3 y m_3 respectivamente). El modelo reducido resulta entonces:

$$H_2(s) = \frac{m_2 s^2 + m_1 s + m_0}{n_2 s^2 + n_1 s + n_0} \quad (4)$$

A partir de este modelo de segundo orden, fue calculada la constante de tiempo de arrastre (τ_A). Ésta fue computada como la inversa del polo dominante ($\omega_p = 2\pi f_p$). De la misma forma, el tiempo de relajación a la deformación (τ_{RD}), fue calculado como la inversa del cero dominante ($\omega_0 = 2\pi f_0$) de $H_2(\omega)$.

Para dar un significado fisiológico a los coefi-

cientes de (4), los ceros fueron ignorados, sin mediar diferencias en el rango fisiológico respecto a (3) y (4). En consecuencia:

$$H_3(s) = \frac{D(s)}{P(s)} = \frac{1}{Ms^2 + \eta s + E} \quad (5)$$

En el dominio temporal continuo, el modelo resultante puede ser mejor entendido y darle un significado fisiológico a los coeficientes del mismo. Estos coeficientes están relacionados con una ecuación diferencial lineal, a coeficientes constantes. Asumiendo que una ecuación diferencial de segundo orden caracteriza la dinámica de la pared arterial, la respuesta en frecuencia está dada por [21]:

$$H_3(s) = \frac{m_0}{n_2 s^2 + n_1 s + n_0} \quad (6)$$

Finalmente, a partir de (5) y (6), pueden determinarse el índice elástico ($E = n_0/m_0$), el índice viscoso ($\eta = n_1/m_0$) y el índice inercial ($M = n_2/m_0$) de la pared arterial.

La Fig. 2. muestra la relación entre las transferencias (3), (4) y (5) que refuerzan la aproximación de la función de transferencia de la pared arterial de (6). En esta figura puede observarse la respuesta en frecuencia del modelo de tercer orden dado por (3), es decir $H_1(\omega)$, la respuesta en frecuencia del modelo de segundo orden con los 2 ceros $H_2(\omega)$ y la respuesta en

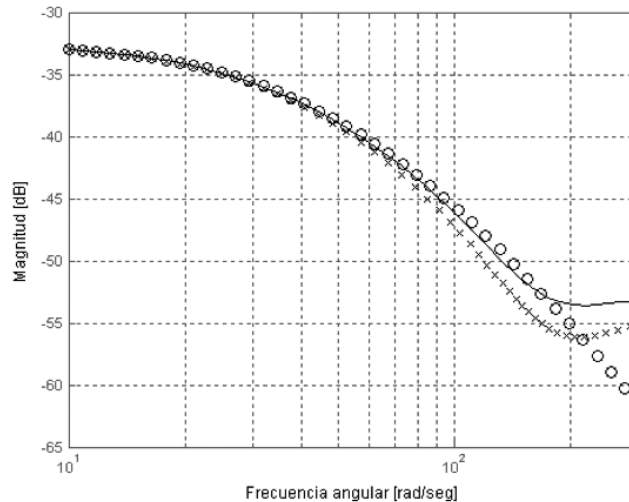


Fig. 2. Línea sólida: gráfico de Bode de amplitud de la aproximación de tercer orden, $H_1(\omega)$. Línea de cruces: gráfico de Bode de amplitud de la aproximación de segundo orden, $H_2(\omega)$. Línea de círculos: gráfico de Bode de amplitud de la respuesta frecuencial de la pared arterial, $H_3(\omega)$. En los tres casos, segmento de arteria carótida fresca. Igual comportamiento presentan las respuestas de fase.

frecuencia de la pared arterial $H_3(\omega)$. Idéntico resultado fue obtenido en todas las arterias del estudio *In Vitro e In Vivo*.

Estadística

Todos los datos fueron expresados con valores medios \pm desvíos estándares. Las diferencias significativas fueron evaluadas mediante un análisis de la varianza (ANOVA), seguidos por test de Bonferroni desapareado, con diferencias significativas con valores de probabilidad de hipótesis nula de $p < 0.05$ mediante el software JMP (SAS NC USA). El análisis de invarianza fue determinado por el coeficiente de variación, resultado de expresar en porcentaje el cociente entre el desvío de una población de datos y su media. La naturaleza del error del MLAE en el procedimiento de adaptación fue realizada con un análisis de correlación y residuos.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados del procesamiento de los datos *In Vivo e In Vitro* mediante el modelo adaptativo ARX. Los mismos están ordenados en forma tabular, describiendo en primer lugar los parámetros hemodinámicos y luego los estructurales clasificados en casos particulares y posteriormente toda la población.

En la Tabla 1 pueden observarse los parámetros hemodinámicos de las arterias carótidas *in vitro* (frescas y criopreservadas) como así también la de los pacientes normotensos e hipertensos.

En las Tabla 2 y 3 se representaron los parámetros biomecánicos obtenidos a partir del modelo adaptativo de tercer orden de la pared arterial de las arterias *in vitro e in vivo* respectivamente. Se presenta un caso individual para cada uno de los 4 grupos bajo estudio con el objetivo de evaluar el coeficiente de variación en las mediciones de las propiedades mecánicas de la pared en los diferentes ciclos cardíacos, de las señales de presión y diámetro arterial.

Como puede observarse en la Tabla 2, la primera y cuarta columna muestran los datos biomecánicos obtenidos con el modelo ARX en un latido promedio, tal cual fuera descripto en la sección de material y métodos (sección 2.3). La segunda y quinta columna, muestran el valor medio de los parámetros biomecánicos, obtenidos luego de la detección individual de latidos. La tercera y sexta columna muestran los coeficientes de variación para el cálculo de los parámetros de la pared en las arterias frescas y criopreservadas respectivamente. Puede apreciarse que en ninguno de los casos, el coeficiente de variación supera el

	ACF	ACC	ACNT	ACHT
N (cantidad)	10	7	20	12
PS (mmHg)	144 \pm 6	144 \pm 4	104 \pm 4	146 \pm 5 ^a
PD (mmHg)	68 \pm 5	67 \pm 6	65 \pm 2	88 \pm 2 ^{a,b}
PM (mmHg)	103 \pm 4	102 \pm 4	83 \pm 2	113 \pm 3 ^{a,b}
DM (mm)	8,89 \pm 1,55	9,15 \pm 1,32	6,36 \pm 0,21	7,43 \pm 0,30 ^{a,b}
f_c (lat/min)	60 \pm 1,2	60 \pm 1,1	65 \pm 2	67 \pm 3 ^b
IMC (Kg/m²)			25 \pm 1	27 \pm 3

ACF, ACC, ACHT, ACNT: Arterias carótidas frescas, criopreservadas, de pacientes normotensos e hipertensos respectivamente. **PS, PD, PM:** Presiones sistólica, diastólica y media respectivamente. **DM:** Diámetro medio. **f_c:** Frecuencia cardíaca. **IMC:** Índice de masa corporal.

^a $p < 0.05$ respecto a ACNT

^b $p < 0.05$ respecto a ACF y ACC

Tabla 1. Parámetros hemodinámicos. Arterias carótidas *In Vitro e In Vivo*

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

	ACF_p	ACF_I	CV_F	ACC_p	ACC_I	CV_C
Latidos (#)	1	27		1	32	
E (mmHg/mm)	355	361	4,2	365	358	6,2
η (mmHg·s/mm)	6,2	6,5	3,8	7,22	7,02	5,8
M (10⁻² mmHg·s²/mm)	4,7	4,3	8,7	4,95	5,13	7,5
f_{3dB} (Hz)	8,25	8,36	4,6	8,33	8,73	2,3
τ_A (10⁻² s)	1,88	1,56	5,6	1,65	1,52	7,4
τ_{RP} (10⁻² s)	7,24	7,88	6,2	6,8	7,63	5,8

ACF_p, ACC_p: arterias carótidas frescas y criopreservadas con latido promedio interpolado. ACF_I ACC_I: arterias carótidas frescas y criopreservadas con latidos individuales (valores medios). CV_F, CV_C: Coeficiente de variación de arterias frescas y criopreservadas (%). **E**, **η** , **M**: Índices elástico, viscoso e inercial de la pared arterial. **f_{3dB}**: frecuencia de corte de 3dB del modelo adaptativo de tercer orden. **τ_A** : tiempo de arrastre. **τ_{SR}** : tiempo de relajación a la deformación.

Tabla 2. Parámetros biomecánicos. Arterias carótidas *In Vitro*.

	ACNT_p	ACNT_I	CV_NT	ACHT_p	ACHT_I	CV_HT
Latidos (#)	1	23		1	18	
E (mmHg/mm)	92	96	5,4	169	181 ^{a,b}	5,7
η (mmHg·s/mm)	7,03	7,54	4,8	11,45	10,66 ^{a,b}	4,8
M (mmHg·s²/mm)	0,44	0,29	9,3	0,54	0,55 ^a	8,5
f_{3dB} (Hz)	3,27	3,52	3,6	3,22	3,32	3,3
τ_A (10⁻² s)	5,9	4,9	6,6	5,7	5,3 ^{a,b}	6,4
τ_{RP} (10⁻² s)	2,5	2,7	4,3	2,4	3,2	73

^a **p<0.05** respecto a ACNT_p

^b **p<0.05** respecto a ANT_I

Tabla 3. Parámetros biomecánicos. Arterias carótidas *In Vivo*. Caso Individual

10%. Este mismo comportamiento y resultado se presenta en todas arterias bajo estudio (10 frescas y 7 criopreservadas) y se resumen en la Tabla 4 como análisis poblacional.

Los datos correspondientes a la Tabla 3 para un sujeto normotenso y otro hipertenso del grupo bajo estudio, verifican las mismas conclusiones que los datos *in vitro* de la Tabla 2, es decir, los coeficientes de variación de los parámetros mecánicos de la pared arterial de ambos sujetos,

no superan el 10%, Se evidencia así repetitividad e invarianza de las determinaciones latido a latido y la ausencia de significancia estadística respecto a los parámetros mecánicos obtenidos con latido promedio. Similares resultados se obtienen para el resto de los sujetos normotensos y pacientes hipertensos, cuya estadística se resume en la Tabla 5.

En las Tablas 4 y 5, se aprecian los datos generales de toda la población de arterias *In Vitro*

	ACF_p	ACF_I	ACC_p	ACC_I
E (mmHg/mm)	363±145	371±124	373±145	364±123
η (mmHg·s/mm)	6,6±2,1	6,3±1,9	7,58±2,21	7,27±1,85
M (10⁻² mmHg·s²/mm)	4,3±1,5	4,7±1,2	5,14±1,48	5,02±1,75
f_{3dB} (Hz)	8,74±2,5	8,96±2,2	8,56±1,90	8,83±2,10
τ_A (10⁻² s)	1,57±1,08	1,64±0,88	1,87±1,03	1,72±1,27
τ_{RP} (10⁻² s)	7,99±6,11	8,3±42	6,2±4,8	7,43±4,44

ACF_p, ACC_p: arterias carótidas frescas y criopreservadas con latido promedio interpolado. ACF_I, ACC_I: arterias carótidas frescas y criopreservadas con latidos individuales. **E**, **η** , **M**: Índices elástico, viscoso e inercial de la pared arterial. **f_{3dB}**: frecuencia de corte de 3dB del modelo adaptativo de tercer orden. **τ_A** : tiempo de arrastre. **τ_{SR}** : tiempo de relajación a la deformación.

Tabla 4. Parámetros biomecánicos. Arterias carótidas *In Vitro*. Análisis poblacional

	ACNT_p	ACNT_I	ACHT_p	ACHT_I
E (mmHg/mm)	98±31	92±34	169±44	173±47 ^{a,b}
η (mmHg·s/mm)	7.21±3.21	7.44±1.92	11.45±3.92	10.88±2.95 ^{a,b}
M (mmHg·s²/mm)	0.34±0.32	0.38±0.24	0.54±0.32	0.65±0.42 ^a
f_{3dB} (Hz)	3.17±1.33	3.44±1.70	3.22±1.30	3.12±1.12 ^{a,b}
τ_A (10⁻² s)	5.9±0.2	4.9±0.6	5.7±2.1	6.1±1.9 ^{a,b}
τ_{RP} (10⁻² s)	2.5±2.9	2.3±1.85	2.4±1.9	2.2±1.7

ACNT_p, ACHT_p: arterias carótidas paciente normotenso e hipertenso con latido promedio interpolado. ACNT_I, ACHT_I: arterias carótidas pacientes normotensos e hipertensos con latidos individuales. **E**, **η** , **M**: Índices elástico, viscoso e inercial de la pared arterial. **f_{3dB}**: frecuencia de corte de 3dB del modelo adaptativo de tercer orden. **τ_A** : tiempo de arrastre. **τ_{SR}** : tiempo de relajación a la deformación.

Tabla 5. Parámetros biomecánicos. Arterias carótidas *In Vivo*. Análisis poblacional

(frescas y criopreservadas) e *In Vivo* (pacientes normotensos e hipertensos) respectivamente, producto del procesamiento latido a latido del bucle P-D. Los valores medios de los coeficientes de variación para cada uno de los parámetros biomecánicos de los 4 grupos estudiados, no superan el 10% y además evidencian un desvío pequeño indicando homogeneidad en los grupos analizados. Las diferencias significativas observadas en estas tablas están relacionadas con el grupo *In Vivo*, donde se evidencian aumentos significativos ($p < 0.05$) de la elasticidad, viscosidad, masa y función de filtrado local y de la viscosidad de pacientes hipertensos respecto a las arterias.

Discusión

El objetivo del presente trabajo fue la determinación de la invarianza temporal de las propiedades mecánicas de la pared arterial.

Habitualmente, los estudios de propiedades mecánicas arteriales, se realizan empleando 1 solo latido de presión y diámetro, ya sea que se haya adquirido o interpolado a partir de varios latidos, asumiendo la invarianza del análisis individual latido a latido. El estudio de variabilidad de la frecuencia cardíaca en el corto plazo (20 minutos) ha sido tratado previamente, caracterizando al periodo cardíaco

como un proceso estocástico de Poisson [22]. Sin embargo, en un intervalo de tiempo de 20 a 30 segundos, que supone no más de 40 latidos cardíacos, el análisis de la invarianza (o no) de las propiedades mecánicas de la pared, no ha sido reportado previamente.

Para ello, se implementó un estudio consistente en 2 grupos, analizando arterias carótidas comunes. El primer grupo de arterias fue analizado en forma *In Vitro*, con un sistema previamente validado [16], con arterias frescas y arterias criopreservadas durante 3 meses y posteriormente descongeladas, provenientes de donantes cadavéricos. El segundo grupo fue realizado *In Vivo*, con sujetos normotensos y pacientes hipertensos con media a moderada hipertensión establecida. Las señales de presión, diámetro y ECG necesarias para cada uno de los análisis, utilizaron protocolos *In Vitro* e *In Vivo* validados previamente [3],[15].

El estudio de invarianza de las propiedades mecánicas arteriales tuvo en cuenta 2 tipos de análisis. En el primero de ellos, el procesamiento instantáneo de las señales de presión y diámetro, consistió en la detección de latidos individuales, trabajando con datos estadísticos y coeficientes de variación. En el segundo análisis, cada uno de los latidos individuales detectados, fue interpolado a la misma cantidad de puntos y se trabajó con un latido promedio de presión y diámetro.

La determinación de las propiedades mecánicas de las paredes arteriales bajo estudio, fue realizada mediante un filtro adaptativo con respuesta al impulso infinita, denominado modelo lineal autoregresivo con entrada exógena. Se consideró como entrada a este sistema la presión arterial y como salida del mismo al diámetro. El orden del modelo de 3 polos y 3 ceros, $H_1(\omega)$, se seleccionó de acuerdo al criterio de información estadística de Akaike [19]. Dentro del rango fisiológico, la eliminación del cero y polo de alta frecuencia de $H_1(\omega)$ no mostró diferencias con el modelo de 2 polos y 2 ceros $H_2(\omega)$, al igual que la eliminación de los ceros de $H_2(\omega)$, que permitió determinar la biomecánica de la pared, $H_3(\omega)$. La Fig. 2. mostró la ausencia de diferencias significativas entre las 3 funciones de transferencia dentro del rango fisiológico de frecuencias para una arteria particular *In Vitro*, siendo extensivo para las arterias del estudio *In Vivo*. A partir de $H_2(\omega)$

y $H_3(\omega)$, se obtuvieron índices que caracterizaron el comportamiento dinámico: índices de elasticidad (E), viscosidad (η) y masa (M); función de filtrado local (FFL); tiempos de arrastre (τ_A) y relajación a la deformación (τ_{RD}). De la transferencia $H_1(\omega)$ se obtuvo el rango dinámico de la pared, caracterizado por la frecuencia corte de la pared arterial (f_{3dB}).

Las Tablas 2 y 3 mostraron resultados individuales para el estudio *In Vitro* e *In Vivo* respectivamente. Se observaron en todos los parámetros mecánicos analizados, un coeficiente de variación menor al 10%, evidenciando la invarianza en las mediciones para cada uno de los latidos individuales. Asimismo, los valores medios calculados para los latidos analizados, no evidenciaron diferencias significativas respecto a los cálculos realizados con el procedimiento de latido único. Se encontraron diferencias significativas entre los parámetros de arterias de sujetos normotensos y pacientes hipertensos, diferencias mecánicas debidas a la etiología de la enfermedad pero no significativas al ser analizado un grupo con su cálculo de latidos individuales y latido único interpolado.

Las Tablas 4 y 5 mostraron el análisis poblacional de los estudios *In Vitro* e *In Vivo*. También pudo observarse la ausencia de significancia estadística, lo que implica la invarianza de los parámetros mecánicos arteriales cuando se compararon los estudios de latido interpolado con latidos individuales. Las diferencias significativas se observaron al comparar propiedades mecánicas de sujetos normotensos e hipertensos, dado que estos últimos fueron pacientes pre tratamiento y por ende, con todos sus indicadores mecánicos alterados.

Conclusiones

Este estudio sugiere que no existen diferencias significativas en el comportamiento mecánico del sistema arterial, cuando el mismo es analizado latido a latido (dentro del intervalo 20-40 latidos), o bien con un único latido interpolado. Esto permite el análisis de las propiedades mecánicas a corto plazo del sistema arterial, en situaciones estables, utilizando el método de latido único interpolado, necesario cuando el número de pacientes a tratar es elevado y la cantidad de datos a manejar y analizar resultan factibles de ser reducidos.

Referencias

- [1] ARMENTANO, R.L.; BARRA, J.G.; LEVENSON, J.; SIMON, A. y PICHEL, R.H. 1995, "Arterial wall mechanics in conscious dogs. Assessment of viscous, inertial, and elastic moduli to characterize aortic wall behavior". *Circ. Res.*, vol. 76, pp. 468-478.
- [2] ARMENTANO, R. L.; MEGNIEN, J.L.; SIMON, A.; BELLENFANT, F.; BARRA, J. y LEVENSON, J., 1995, "Effects of hypertension on viscoelasticity of carotid and femoral arteries in humans". *Hyp.*, vol. 26, pp.48-54.
- [3] ARMENTANO, R. L.; BARRA, J. G.; PESSANA, F.; CRAIEM, D.; GRAF, S.; BIA SANTANA, D. y SÁNCHEZ, R., 2007, "Smart Smooth Muscle Spring Dampers". *IEEE – Eng. Med. Biol. Mag.*, vol. 26 no. 1, pp. 62-70.
- [4] GAMERO, L. G.; ARMENTANO, R. L.; BARRA, J. G.; SIMON, A. y LEVENSON, J., 2001, "Identification of arterial wall dynamics in conscious dogs". *Exp. Phys.*, vol. 86, no. 4, pp. 519-528.
- [5] PESSANA, F.; BIA SANTANA, D.; PÉREZ CAMPOS, H.; CRAIEM, D.; GRAF, S.; ZOCALO, Y.; RISK, M. y ARMENTANO, R. L., 2004, "Dynamics of cryopreserved human carotid arteries". *Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, vol. 1, pp. 730-733.
- [6] BIA SANTANA, D.; PESSANA, F.; ARMENTANO, R. L.; PÉREZ, H.; GRAF, S.; ZÓCALO, Y.; SALDÍAS, M. y ALVAREZ, I., 2006, "Cryopreservation procedure does not modify human carotid homografts mechanical properties: an isobaric and dynamic analysis. *Cell & Tissue Bank.*; vol. 7 no. 3: pp. 183-194.
- [7] ZOCALO, Y.; PESSANA, F.; BIA SANTANA, D. y ARMENTANO, R. L., 2006, "Regional differences in vein wall dynamics under arterial hemodynamics conditions: comparison with arteries". *Artif. Organs*, vol. 30, no 4, pp. 265-275.
- [8] BIA SANTANA, D.; BARRA, J.G.; GRIGNOLA, J. C.; GINES, F.F. Y ARMENTANO, R. L., 2005, "Pulmonary artery smooth muscle activation attenuates arterial dysfunction during acute pulmonary hypertension". *J. Appl. Physiol.*, vol. 98, pp. 605-613.
- [9] MILNOR, W.K., 1982, "Hemodynamics". Baltimore, MD, Williams & Wilkins, 56-96.
- [10] NICHOLS, W.W. y O'ROURKE, M.F., 1998, "Mc Donald´s Blood Flow in Arteries. Theoretical, experimental and clinical principles. Fourth Edition".
- [11] FUNG, Y. C., 1981, "Biomechanics". New York: Springer-Verlag.
- [12] I. ALVAREZ, I.; SALDÍAS, M.; WODOWOZ, O.; PÉREZ CAMPOS, H.; MACHIN, D.; SILVA, W.; SUETA, P.; PÉREZ, N. y ACOSTA, M., 2003, "Progress of national multi-tissue bank in uruguay in the international atomic energy agency (IAEA) tissue banking programme". *Cell and Tissue Banking*, vol. 4:pp. 173-178.
- [13] DOUGLAS, M. y MERYMAN, H., 1990, "Cryoprotectant Toxicity and Cryoprotectant toxicity reduction: In Search of molecular mechanisms". *Cryobiology*, vol. 21: pp. 407-426.
- [14] FAHY, G. M.; JEVY, D. I. y ALI, S. E. , 1987, "Some emerging principles underlying the physical properties, biological actions, and utility of vitrification solutions". *Cryobiology*, vol. 24, pp. 196-213.
- [15] CABRERA FISCHER, E. I.; ARMENTANO, R. L.; PESSANA, F. M.; GRAF, S.; ROMERO, L.; CHRISTEN, A. I.; SIMON, A. y LEVENSON, J., 2002, "Endothelium-dependent arterial wall tone Elasticity modulated by blood viscosity". *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, vol. 282, pp. 389-394.
- [16] ARMENTANO, R.L.; BARRA, J. G.; BIA SANTANA, D.; PESSANA, F.; GRAF, S.; CRAIEM, D.; BRANDANI, L. M.; BAGLIVO, H. P. y SÁNCHEZ, R.A., 2006, "Smart Damping Modulation of Carotid Wall Energetics in Human Hypertension: Effects of Angiotensin-Converting Enzyme Inhibition". *Hypertension*, vol. 47, vol. 3, pp. 384-390.
- [17] PESSANA, F.; VENIALGO, E.; RUBSTEIN, J. y FURFARO, A., 2010, Assessment of Human Instantaneous Arterial Diameter using B-Mode Ultrasound Imaging and Artificial Neural Networks: Determination of Wall Mechanical Properties. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 1: pp 1409 - 1412. ISSN: 0739-5175.
- [18] LJUNG, L., 1999, "System Identification – Theory for the User". 2nd. Edn. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall.
- [19] AKAIKE, H., 1969, "Fitting autoregressive models for prediction". *Ann Inst Stat. Math.*, vol. 21, pp. 243-247.
- [20] DESPLANTEZ, A.; CORNU, C. y GOUBEL, F., 1999, "Viscous properties of human muscle during contraction," *J. Biomech.*, vol. 32, pp. 555-562.
- [21] PETERSON, L. H.; JENSEN, R. E. y PARNELL, J., 1960, "Mechanical properties of arteries in vivo". *Cir. Res.*, vol. 8, pp. 622.
- [22] KUUSELA, T.; SHEPHERD, T. and HIETARINTA, J., 2003, Stochastic model for heart-rate fluctuations. *Phys Rev E* 67, 061904, pp 1-7.

Diseño de un pre-amplificador de potencia en 2,4 GHz mediante el uso de tecnología de microtiras

Cristian Germán Huaco Olcese¹, Carlos Mario Puliafito^{1,2}, Jeremías Aliquó¹

¹Universidad de Mendoza, Facultad de Ingeniería, Instituto de Alta Frecuencia y Microondas, Paseo Emilio Descotte 750, (5500) Mendoza, Argentina

²Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, Grupo Lecer, Gral. Rodríguez 273, (5500) Mendoza, Argentina

german.huaco.olcese@gmail.com

Recibido el 20 de octubre de 2013 aprobado el 10 de febrero de 2014

Resumen

El presente trabajo describe el proceso de construcción, mediante la utilización de tecnología de microtiras, de un pre-amplificador de potencia en microondas, el cual opera en la frecuencia de 2,4 GHz., obteniendo una potencia en la salida de 100 mW, a fin de trabajar como etapa alimentadora de un dispositivo de mayor potencia (1 W). Dicha publicación se encontrará cronológicamente distribuida, y diferenciando claramente los procesos de diseño teórico, construcción, mediciones en laboratorio, y conclusiones finales.

PALABRAS CLAVE: MICROTIRAS – AMPLIFICADOR DE POTENCIA – ALTA FRECUENCIA – MICROONDAS

Abstract

The purpose of this publication is to describe the design process for a pre-amplifier microwave operating at 2,4 GHz, with an output power of 100 mW. This device was made using strip line`s techniques and it operates as a previous stage in order to feed another amplifier. In this paper, I will give an in depth and chronologically ordered overview in order to describe the processes of design, construction and measurements associated with this pre-amplifier microwave.

KEYWORDS: STRIP LINE – POWER AMPLIFIER – HIGH FREQUENCY – MICROWAVES

Introducción

En el presente trabajo se trata el diseño, construcción y análisis de un pre-amplificador lineal de pequeña señal en microondas. Tomaremos una frecuencia de trabajo de 2,4 GHz, y se imponen las condiciones de 100 MHz de ancho de banda y una potencia en la salida de 20 dBm (100 mW). Dichas condiciones serán necesarias y suficientes para que nuestro dispositivo sea capaz de alimentar a futuro, a un amplificador de 1 W en la banda previamente especificada. Para lograr nuestro cometido nos basaremos en la tecnología de microtiras, comúnmente usada para los diseños de este tipo.

Cronológicamente nuestro trabajo constará de tres etapas claramente diferenciadas, donde en una primera parte tendremos en cuenta la elección y aplicación de los criterios, procedimientos y modelos de diseño a utilizar, siempre desde el punto de vista de lo teórico. En una segunda etapa, se procede a la construcción del dispositivo de acuerdo a los resultados obtenidos en la etapa anterior, para finalmente, y en una última etapa, la evaluación y elaboración de conclusiones con respecto al dispositivo terminado y en funcionamiento.

Como aspecto adicional, debemos tener en cuenta otros factores importantes, sobre todo en cuanto a la obtención de los componentes, ya que para el rango de frecuencia en el cual operamos, esta no será siempre una empresa fácil, por lo que esto nos proporcionará otro aspecto limitante en la hora del diseño.

Elección del criterio de diseño

Para el proceso de diseño, se elige trabajar con el criterio de la máxima ganancia, el cual suele usarse en circuitos lineales. Como su nombre lo indica, se buscará obtener la máxima ganancia posible mediante el uso de parámetros S. Para esto nos valdremos de dos redes de adaptación: una adaptando el puerto de entrada del elemento activo con el generador y la otra entre el puerto de salida y la carga. Para lograr el cometido, será necesario cumplir con la siguiente condición:

$$\Gamma_{ent} = \Gamma_g^* \quad \Gamma_{sal} = \Gamma_c^* \quad (1)$$

Lo cual no será otra cosa, que obtener una adaptación conjugada en la entrada y salida del dispositivo.

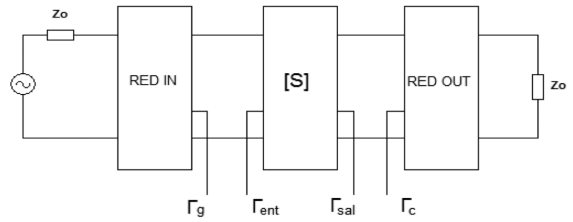


Fig. 1. Esquema de adaptación conjugada

En el caso de un dispositivo bilateral, como el que a nosotros nos compete, dichos valores de coeficiente de reflexión en la entrada serán afectados también por los de salida y viceversa, matemáticamente se expresará de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \Gamma_{ent} = \Gamma_g^* &= S11 + \frac{S12.S21.\Gamma_c}{1 - S22.\Gamma_c} \quad y \\ \Gamma_{sal} = \Gamma_c^* &= S22 + \frac{S12.S21.\Gamma_g}{1 - S11.\Gamma_g} \end{aligned} \quad (2)$$

Donde luego podremos llegar a las siguientes ecuaciones, a partir de las cuales obtendremos los valores adecuados para nuestra adaptación:

$$\begin{aligned} \Gamma_{sg} &= \frac{B1 \pm \sqrt{B1^2 - 4|C1|^2}}{2C1} \quad y \\ \Gamma_{sc} &= \frac{B2 \pm \sqrt{B2^2 - 4|C2|^2}}{2C2} \end{aligned} \quad (3)$$

Donde:

$$\begin{aligned} B1 &= 1 + |S11|^2 - |S22|^2 - |\Delta|^2 \\ B2 &= 1 + |S22|^2 - |S11|^2 - |\Delta|^2 \\ C1 &= S11.\Delta.S22^* \\ C2 &= S22.\Delta.S11^* \\ \Delta &= S11.S22 - S12.S21 \end{aligned} \quad (4)$$

Como resultado de esto tendremos dos valores de Γ_{sg} y dos de Γ_{sc} , donde uno será positivo y el otro negativo, por lo que elegiremos los primeros para nuestro diseño.

Una vez obtenidos los valores correctos, ya estamos en condiciones de iniciar el diseño de las redes de adaptación, para el cual nos valdremos de la herramienta de software *Microwave Office 2009*.

Una vez elegido el elemento activo, que en nuestro caso será el transistor bipolar AT-42070 (NPN), partiendo del juego de parámetros S brindados por el fabricante, obtendremos los valores de impedancia correspondientes a los coeficientes de reflexión en los puertos de entrada y salida res-

pectivamente. Dichos valores, ya normalizados para 50 ohm, serán:

$$GM1=0,080584 - j\,0,1859924$$

$$GM2=1,044962 + j\,1,932692$$

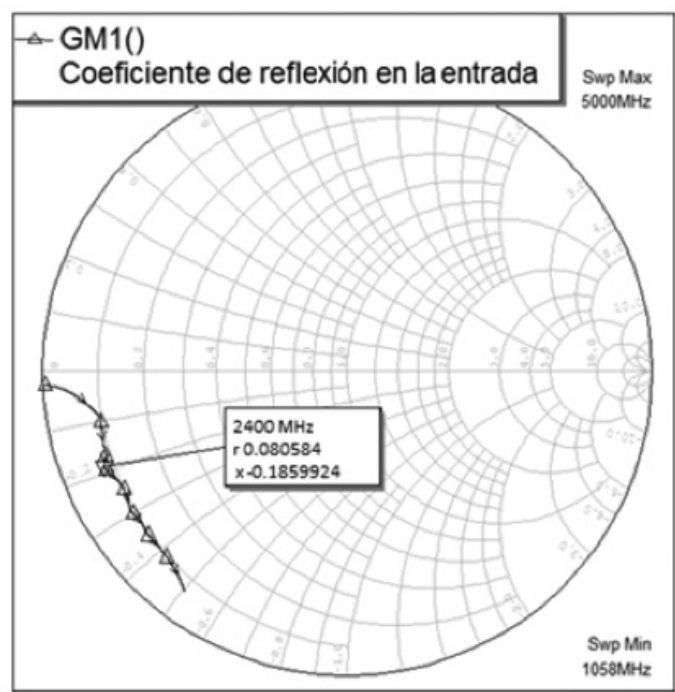


Fig. 2. Coeficiente de reflexión en la entrada del transistor

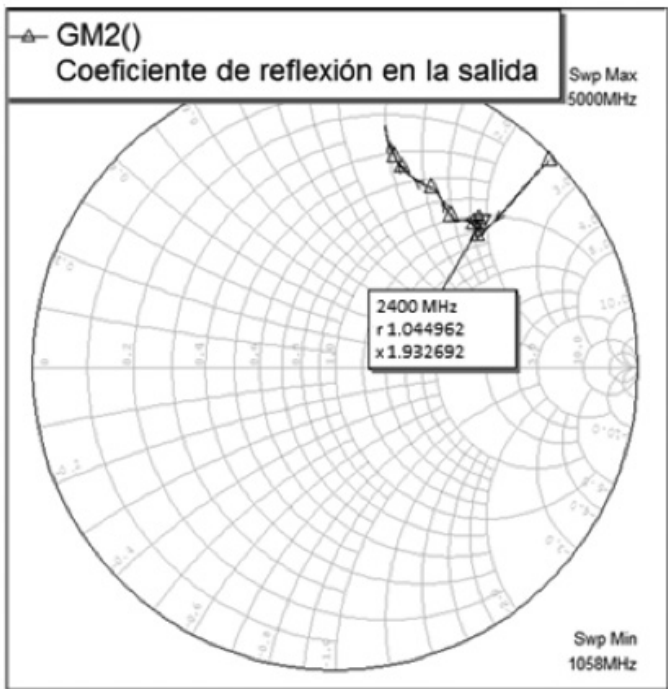


Fig. 3. Coeficiente de reflexión en la salida del transistor

Estabilidad del transistor

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el estudio de la estabilidad del transistor como un ente independiente y para los valores de polarización del fabricante ($V_{ce}=8\text{ V}$, $I_c=35\text{ mA}$), para esto nos valdremos del factor K analizando su respuesta en frecuencia.

Recordando la expresión matemática de dicho factor:

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2 \cdot |S_{12} \cdot S_{21}|} \quad (5)$$

Donde:

$$|\Delta| = S_{11} \cdot S_{22} - S_{12} \cdot S_{21} \quad (6)$$

Concluimos que para lograr estabilidad incondicional en una frecuencia determinada, dicho factor deberá ser mayor a 1.

Como resultado del análisis, tenemos un transistor (Fig. 4) potencialmente inestable en la banda de 0 a 1057 MHz, valor a partir del cual es incondicionalmente estable. En este paso no tomaremos decisiones al respecto a fin de no incrementar las pérdidas, y se esperará a analizar la respuesta total, una vez incluidas las redes de adaptación al diseño.

Diseño de las redes de adaptación

Con respecto al diseño de las redes de adaptación de los puertos del transistor con el generador y la carga se buscará realizar una adaptación gradual mediante el agregado de líneas de transmisión y *stubs*, tanto abiertos como cortocircuitados. En otras palabras, partiremos desde el punto ubicado en el centro del diagrama de Smith, correspondiente a $50+j0\text{ ohm}$ (impedancia de generador o carga), hasta el punto correspondiente al valor de impedancia correspondiente al coeficiente de reflexión del puerto en cuestión.

En nuestro caso, para la red de entrada, y partiendo desde el generador (centro de la carta de Smith), mediante el agregado de un *stub* en cortocircuito y dos líneas en serie con diferente sección, nos desplazamos gradualmente hacia el punto deseado correspondiente con el puerto de entrada del transistor. El mismo procedimiento se realiza en la salida, obteniendo una línea en serie con la carga seguida de un *stub* en cortocircuito y una línea de transmisión en serie con el puerto de salida de nuestro transistor.

Cabe destacar que en el diseño de redes se priorizó el uso de *stubs* en cortocircuito en lugar de líneas abiertas, a fin de evitar inconvenientes producto de radiaciones indeseadas, comunes en este tipo de líneas.

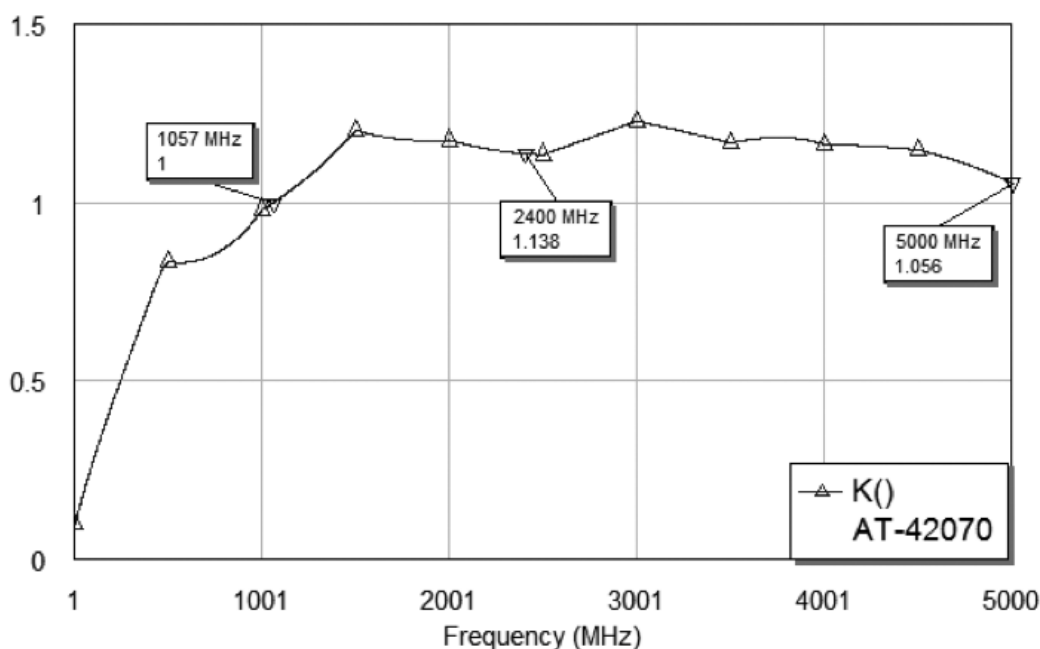


Fig. 4. Factor de estabilidad K del transistor

En los siguientes diagramas de Smith, figuras 5 y 6, se observan las contribuciones correspondientes de cada elemento formante de las redes de entrada y salida respectivamente.

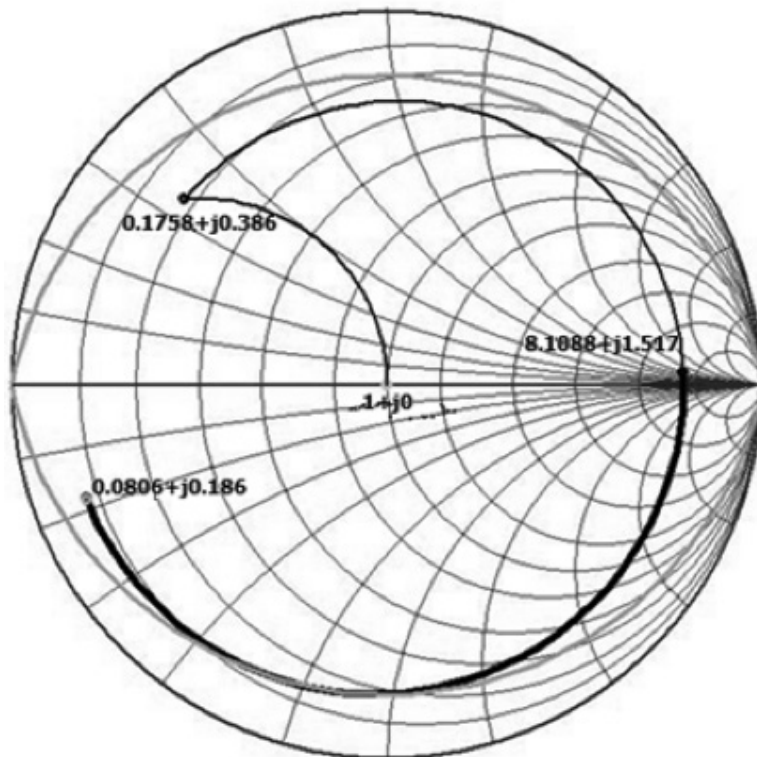


Fig. 5. Comportamiento de la red de adaptación de entrada

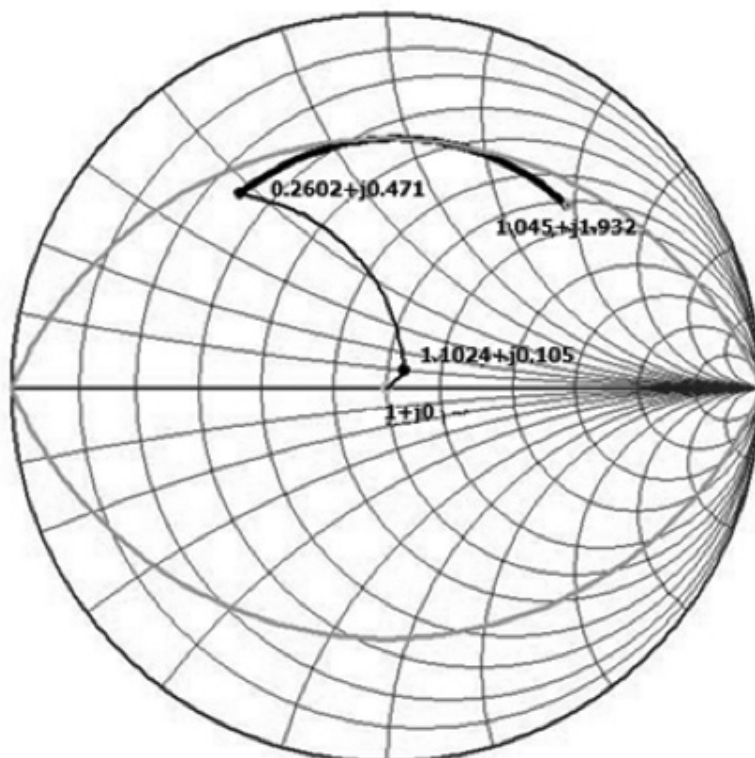


Fig. 6. Comportamiento de la red de adaptación de salida

A continuación se observa un esquema con los elementos constituyentes de las redes de adaptación y sus respectivas dimensiones físicas.

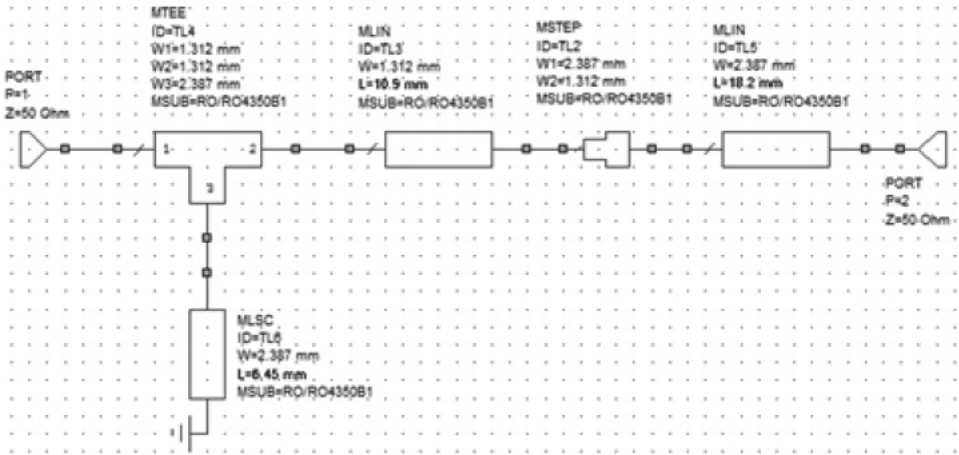


Fig. 7. Esquema general de la red de adaptación de entrada

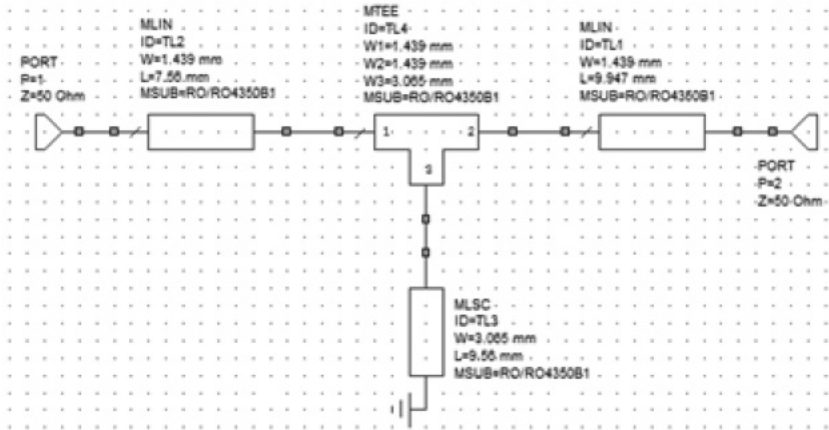


Fig. 8. Esquema general de la red de adaptación de salida

Análisis conjunto del sistema

En este paso se realiza el análisis del conjunto del transistor con sus redes de adaptación, tomando el sistema total como un cuadripolo.

En primer lugar se realiza el análisis de atenuación de retorno, este es un valor importante, ya que determinará la relación entre onda reflejada e incidente en un determinado puerto. Dicho valor nos determinará el grado

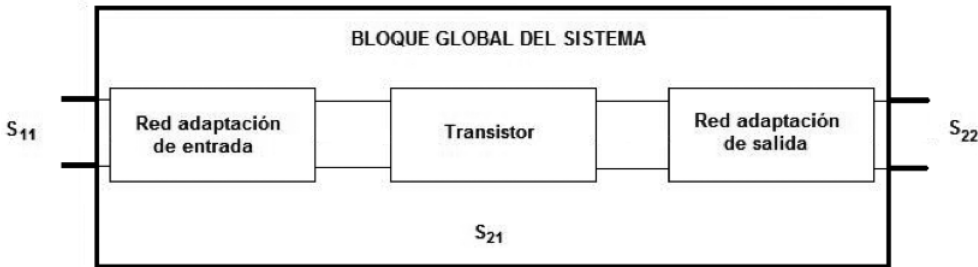


Fig. 9. Representación del sistema en forma de cuadripolo

de adaptación de nuestro sistema, de más está decir que una gran atenuación de retorno marcará un buen aprovechamiento de potencia, mientras que por el contrario cuando este disminuye, determina un aumento en el valor de la onda reflejada, pudiendo incluso, producir una condición de oscilación cuando esta es mayor a la incidente.

En nuestro caso, y para la frecuencia de trabajo solicitada, nuestro análisis arroja un valor de -22,77 dB en el puerto de entrada y -37,55 dB en el puerto de salida. Dichos valores son considerados satisfactorios ya que con ellos se consigue la suficiente atenuación a la onda reflejada en la zona de interés.

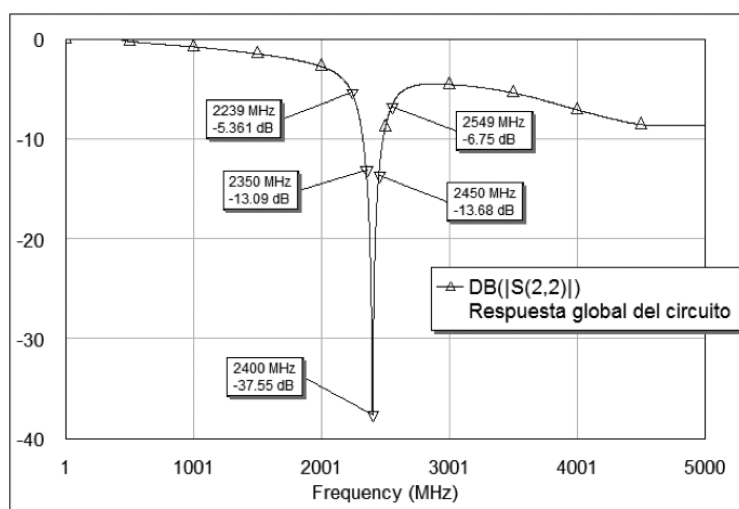


Fig. 10. Atenuación de retorno en la entrada

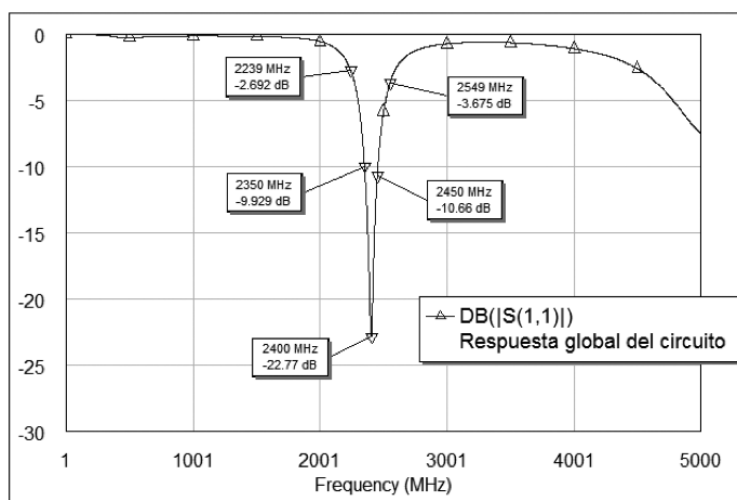


Fig. 11. Atenuación de retorno en la salida

En cuanto a la respuesta en frecuencia del sistema, Fig. 12, se observa que como valor teórico, este alcanza los 14,38 dB de ganancia en la frecuencia de trabajo y alcanzando un ancho de banda superior a los 300 MHz.

La estabilidad del sistema es otro punto crucial a tener en cuenta, ya que es un factor determinante para evitar la condición de oscilación de nues-

tro dispositivo. Para realizar este análisis, se apelará tanto al uso del factor K (Stern), como al factor μ (mu) en la entrada y en la salida.

En cuanto al análisis del factor K (Fig. 13) y como se muestra en la siguiente figura, el resultado nos arroja un valor superior a uno en toda la banda, lo cual implica que el sistema será incondicionalmente estable. Incluso, y como se

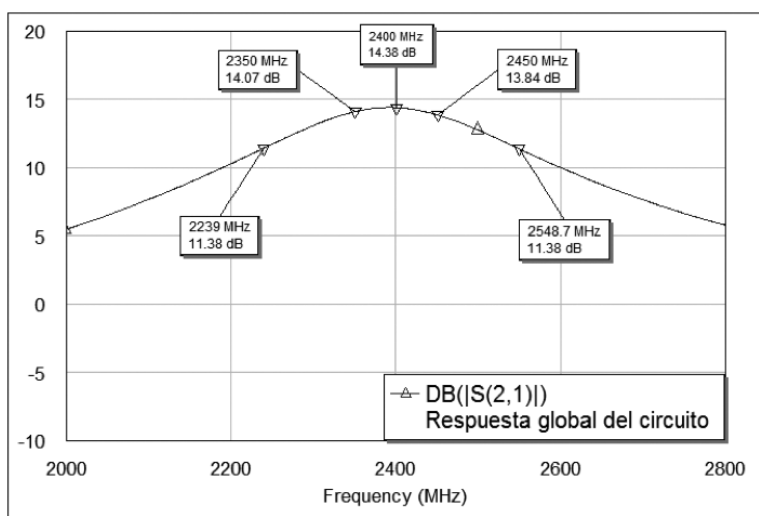


Fig. 12. Respuesta en frecuencia del sistema

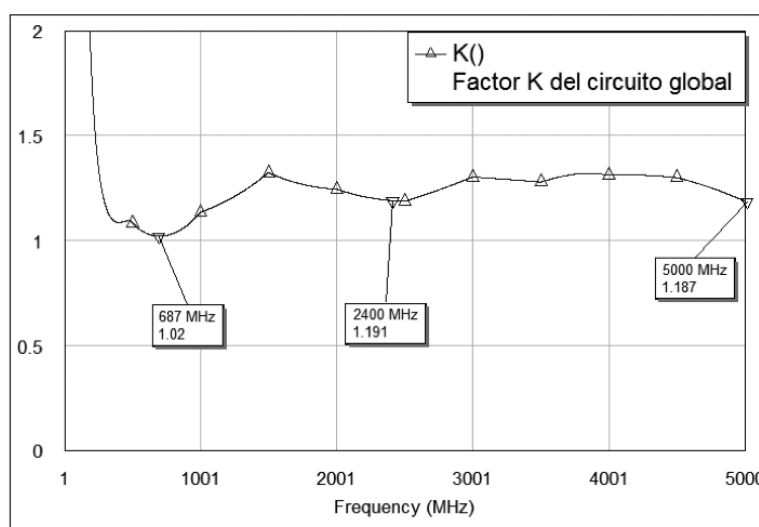


Fig. 13. Factor de estabilidad K del sistema

puede observar, el problema de inestabilidad potencial del transistor en bajas frecuencias, ha sido subsanado luego del agregado de las redes de adaptación. Dicho esto no será necesario tomar ninguna medida extra, tal como recurrir a la desadaptación, filtrado de la banda conflictiva, etc.

No obstante estos resultados satisfactorios, también se recurre al uso del factor μ de estabilidad, el cual, a diferencia del factor K, tendrá en cuenta también la influencia de realimentaciones parásitas. Dichos factores pueden ser interpretados como el cómputo de la distancia desde el centro del diagrama de Smith (generador o carga), hasta el punto inestable más cercano en el plano de entrada o salida de generador o carga respectivamente.

Matemáticamente se expresan:

$$\mu \text{ (in)} = \frac{1 - |S_{11}|^2}{|S_{22} - S_{11}^* \Delta| + |S_{21} \cdot S_{12}|} \quad (7)$$

$$\mu \text{ (out)} = \frac{1 - |S_{22}|^2}{|S_{11} - S_{22}^* \Delta| + |S_{21} \cdot S_{12}|} \quad (8)$$

Donde:

$$|\Delta| = S_{11} \cdot S_{22} - S_{12} \cdot S_{21} \quad (9)$$

Se debe tener en cuenta que como condición de estabilidad dichos factores deberán tener un valor mayor a uno.

A continuación se observa el análisis del factor μ , tanto en la entrada como en la salida (Fig. 14 y 15)

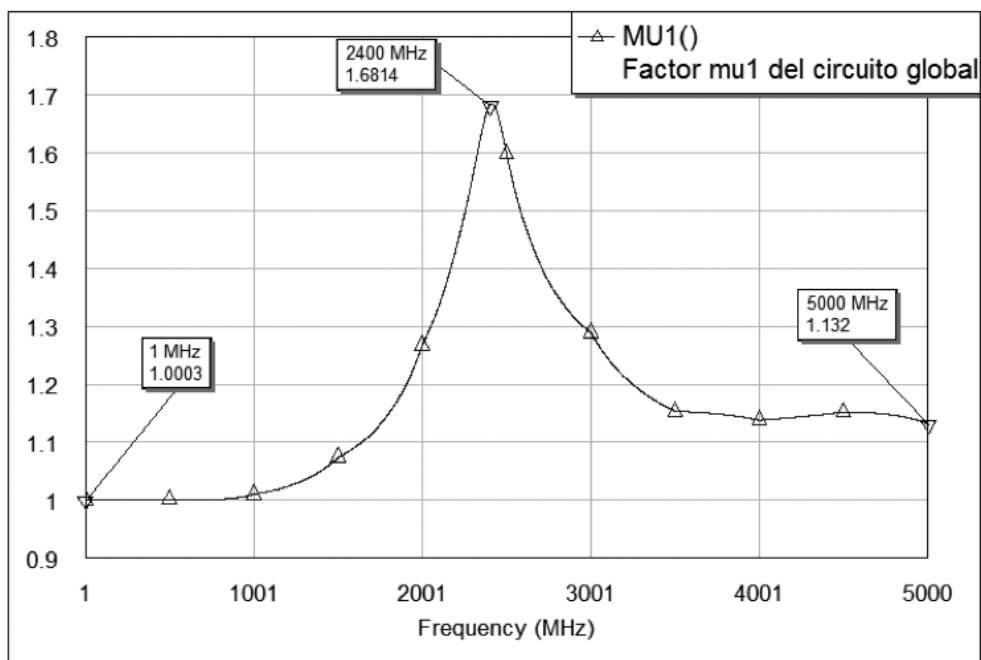


Fig. 14. Factor de estabilidad μ en la entrada

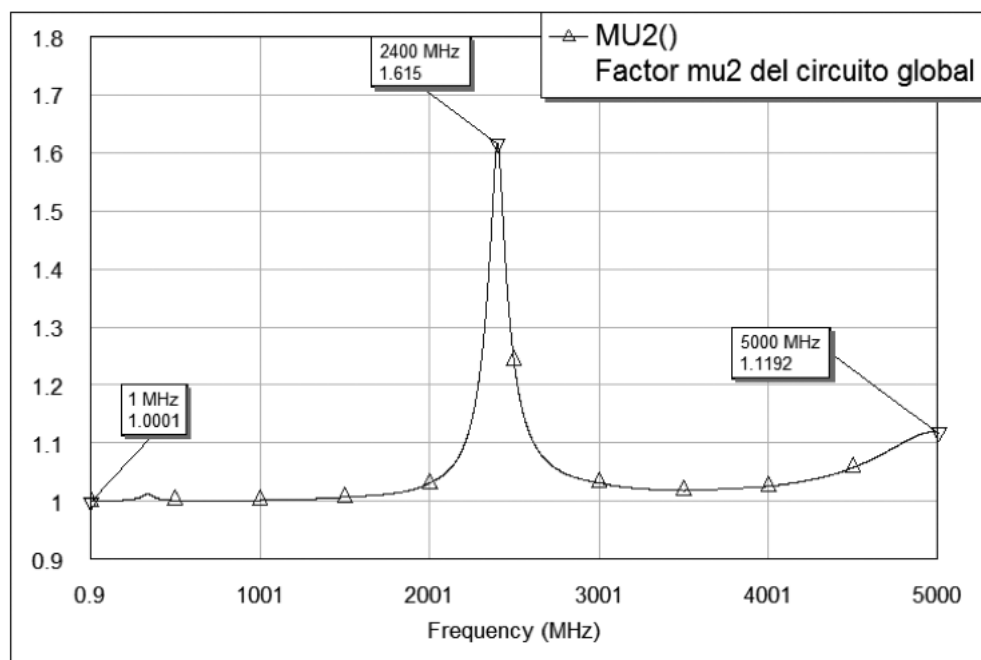


Fig. 15. Factor de estabilidad μ en la salida

De la observación se obtiene que el factor será mayor a uno en toda la banda, dicho esto, estamos en condiciones de decir que nuestro sistema será incondicionalmente estable.

Redes de polarización y desacoplo de RF

Ante la posibilidad de utilización de fuentes de polarización cuyos valores pueden no ser del todo estables, como por ejemplo una batería en el caso de un servicio móvil, se anexa una fuente

de polarización regulada, mediante el uso del Amplificador Operacional CA3130. Dicho circuito proporciona una salida estable a partir de una entrada variable de entre 3 y 12 V entregando además una fijación de la corriente de salida, la cual podrá ser finamente ajustada por medio de la resistencia de variable de 500 Ohms.

El circuito de la red de polarización se ve en la Fig.16.

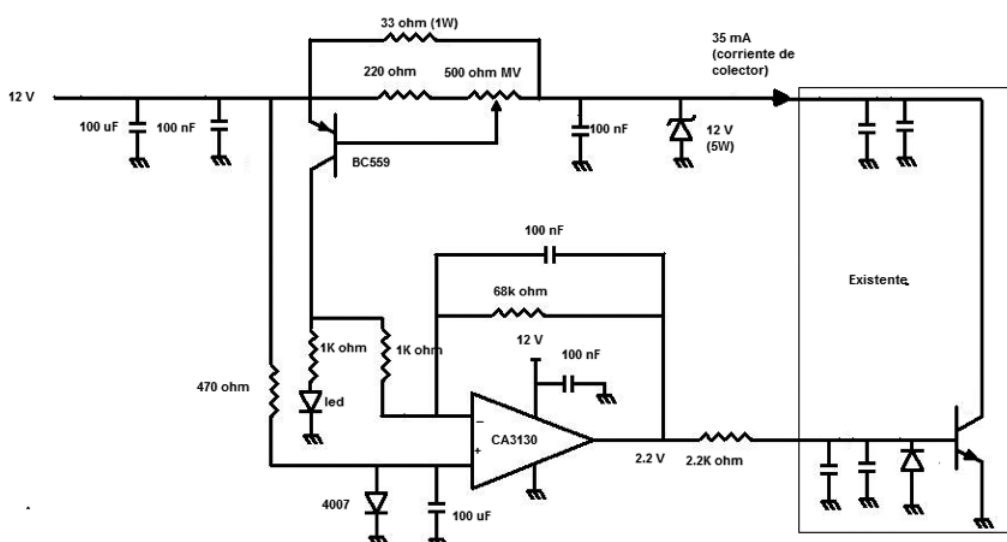


Fig. 16. Esquema del circuito de polarización

En cuanto al circuito de desacople de RF, la implementación se realiza mediante elementos concentrados los cuales colaboran con la simplicidad del diseño agregándole buenas prestaciones. Se usan dos bobinas de choque (una conectada a base y otra a colector), de distintos valores de reactancia con el objetivo de evitar que ambas posean la misma frecuencia de resonancia con el objeto de evitar posibles realimentaciones indeseadas producto de dicho fenómeno, adicionalmente se usan dos capacitores *feedthrough* y dos capacitores de 0,1 μF , también a masa para las entradas de base y colector respectivamente. El objetivo de dichos capacitores será el de conducir a masa cualquier señal en dirección a la fuente de polarización que no haya logrado ser bloqueada por la bobina de choque.

Detalles constructivos adicionales

Adicionalmente, cabe destacar que las terminaciones de los *stubs* en cortocircuito se realizan mediante un arreglo de 3 capacitores en paralelo (36, 220 y 1000 pF), para realizarla se procede a dejar un pequeño espacio entre el extremo del *stub* y la isla de masa, espacio en donde se ubicará el arreglo de capacitores y donde cada uno tendrá un terminal soldado al *stub* y el restante a masa.

Dicho arreglo, se realiza con la intención de brindar bloqueo de corriente continua, sin perder la condición de cortocircuito en alta frecuencia. Además de esto, tanto en la entrada

como en la salida del circuito se colocan los respectivos capacitores de bloqueo de corriente continua, con valores de 20 pF cada uno.

A continuación se observa la placa finalizada:

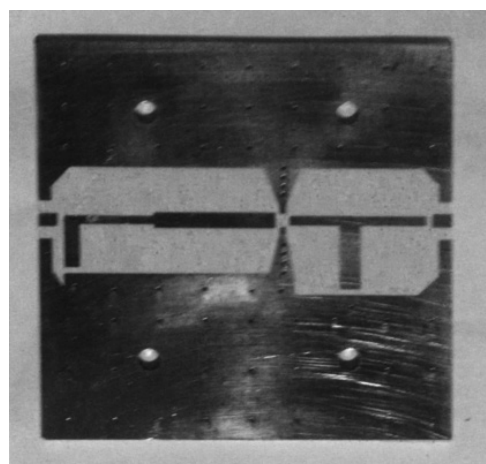


Imagen 1. Placa del circuito finalizada

En cuanto a los conectores, tanto para la entrada como para la salida, se usan dos SMA-N hembra tipo chasis de la marca Radiall, los cuales son adecuados para el uso en frecuencias de microondas, llegando a ser útiles hasta valores del orden de los 18 GHz.

Respecto a la selección de la placa, el modelo elegido fue el modelo RO4350B de Rogers Corporation con sustrato de vidrio reforzado con hidrocarburo y cerámica, revestido en cobre (35 μm) electro-depositado.

A la placa en cuestión, se le practican agujeros metalizados (vías *holes*) entre la cara superior y el plano de tierra, a fin de acortar el camino a tierra y facilitar la disipación de calor, dichos agujeros estarán distribuidos con mayor densidad en la zona cercana al emisor del transistor, a fin de bajar en lo posible la inductancia de emisor evitando así posibles realimentaciones indeseadas.

Finalmente, la placa se monta sobre un disipador tipo lengüetas de 4,9 x 5,1 cm en su superficie de apoyo y 2,9 cm de altura. Las dimensiones del disipador serán, a decir verdad, algo mayores a las requeridas, pero éstas se eligen a fin de brindar además soporte mecánico a la placa del circuito de polarización que irá montada sobre este.

A continuación se observa la vista de planta del pre-amplificador finalizado:

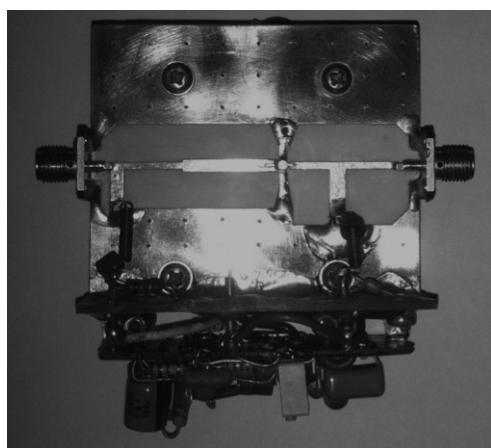


Imagen 2. Dispositivo pre-amplificador finalizado

Análisis del dispositivo finalizado

Para el análisis de laboratorio, en primer lugar se toman las mediciones de potencia en

la salida para el punto de polarización sugerido por el fabricante ($V_c=8$ V, $I_c=35$ mA) y luego se ajustarán dichos valores a fin de lograr obtener el mejor resultado posible en cuanto a potencia de salida. Como aclaración, primero diremos que en todos los casos se trabajará con una alimentación de 10 dBm (10 mW) en la entrada e intercalando un atenuador calibrado en 40 dB entre salida del amplificador y el instrumento de medición, a fin de no saturar al segundo.

Se observa en la imagen 3 la disposición de los elementos usados en las mediciones.

Como primera medición y tomando los valores de polarización antes mencionados, se obtiene una lectura de -19,8 dBm de potencia entregada en la salida, lo cual teniendo en cuenta los 40 dB de atenuación, nos resultará que nuestro dispositivo estará entregando una potencia de 20,2 dBm (104,7 mW), valor que cumple con el requerido al principio del diseño. Si además de esto tenemos en cuenta los 10 dBm de excitación, se deduce que nuestra ganancia será de 10,2 dB. (Imagen 4)

Dicho valor de ganancia no se ajusta del todo a los valores obtenidos en el diseño teórico, pero se aceptan debido a que se logra cumplir con el requerimiento de potencia de salida.

Si ahora ajustamos el valor de polarización, variando la V_c a 11 V, nuestros resultados mejoran sustancialmente, obteniendo un valor de potencia en la salida de 20,9 dBm (123 mW), en la frecuencia de 2,4 GHz. Lo cual, en términos de ganancia nos resultará en 10,9 dB. Si tomamos el ancho de banda establecido de 100 MHz, se obtiene un valor de 20,57 dBm para 2350 MHz, y 19,98 dBm en los 2450 MHz. (Imagen 5)

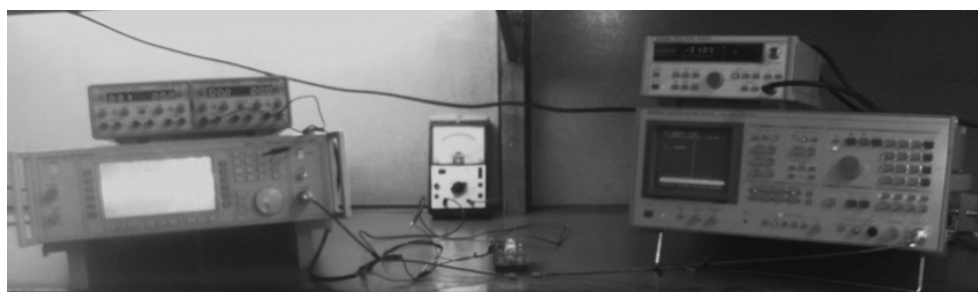


Imagen 3. Disposición de los elementos de medición en laboratorio

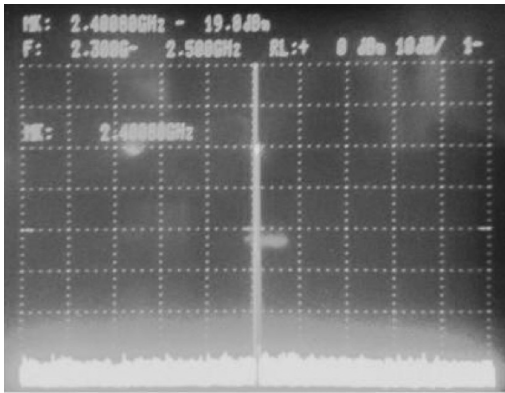


Imagen 4. Medición inicial de la potencia de salida

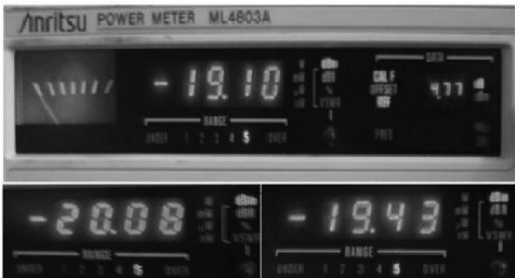


Imagen 5. Medición final de los valores de potencia

En la tabla 1 se observa el contraste entre los valores de ganancia teóricos y los obtenidos en el laboratorio (para $V_{ce}=11\text{ V}$), donde se puede observar la diferencia entre ambos, entregando como resultado una clara disminución en detrimento de los segundos.

De todos modos y como se dijo anteriormente, a pesar de la disminución en la ganancia, nuestro dispositivo seguirá siendo capaz de entregar los necesarios 20 dBm en la salida, además, teniendo en cuenta y extendiendo la observación al ancho de banda real (-3 dB respectivamente) el dispositivo no presenta una reducción en cuanto a los valores teóricos sino que seguirá manteniéndose en el orden de los 300 MHz.

Cabe agregar, en cuanto a términos de linealidad, la aparición de un pico en la frecuencia

de 4800 MHz, pero con una amplitud del orden de los -30 dB con respecto a la portadora, por lo que no se la considera importante. Dicho fenómeno, el cual aparece incluso en ausencia de señal de entrada, se atribuye a una posible distorsión producida la unión rectificadora (base-emisor) del transistor.

Conclusión

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se destacan como aspectos positivos (en cuanto a fidelidad con respecto a los cálculos teóricos), factores como la estabilidad, potencia de salida y respuesta en la banda de trabajo solicitada, todos analizados en anteriores apartados. Quizá el punto menos satisfactorio en nuestro trabajo, es el que se refiere a la ganancia del dispositivo, pero resulta del todo comprensible cuando, además de las obvias diferencias entre lo teórico y lo práctico, se tienen en cuenta otros factores que dificultan el desarrollo tales como el difícil acceso y reducido espectro de elección que se tiene en cuanto a los componentes e instrumentos usados en microondas.

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados en el párrafo anterior, y de acuerdo a los requerimientos de diseño, podemos afirmar que más allá de las limitaciones en ganancia, dicho dispositivo cumple perfectamente con las condiciones impuestas para brindar utilidad como etapa pre-amplificadora de un dispositivo de mayor potencia.

Agradecimientos

Al Ing. Eduardo Antonio por su asesoramiento, tanto en la etapa constructiva del dispositivo como en la etapa de mediciones del mismo.

	Ganancia en 2350 MHz.	Ganancia en 2400 MHz.	Ganancia en 2450 MHz.
Valor teórico	14,07 dB	14,38 dB	13,84 dB
Valor medido	10,57 dB	10,9 dB	9,98 dB
Variación %	24,87%	24,2%	27,89%

Tabla 1. Tabla comparativa de los valores medidos

Referencias

- SISODIA M. L., GUPTA V. L., (2005), Microwave Engineering, New Age International Publishers, India.
- BENYAMIN, (2004), Broadband Microwave Amplifiers, Artech House, USA.
- DOWLA FARID, (2004), Handbook of RF and Wireless Technologies, Newnes, Inglaterra.
- GIANNINI F., LEUZZI G., (2004), Nonlinear Microwave Circuit Design, John Wiley & Sons, Inglaterra.
- AVAGO TECHNOLOGIES, (2013), Aplicacion Notes, Avago Technologies, Estados Unidos.
- ANNAPURNA D., SISIR K. D., (2009), Microwave Engineering, McGraw Hill, India.
- BAGDAD D. D., (2009), Microwave Engineering I, Technical Publications Pune, India.
- BAGDAD V. S., (2009), Microwave Engineering II, Technical Publications Pune, India.
- COLEMAN CHRISTOPHER, (2005), An Introduction to Radio Frequency Engineering, Cambridge University Press, Inglaterra.
- POZAR DAVID M., (1998), Microwave Engineering, John Wiley & Sons, Estados Unidos.

Efecto de la temperatura sobre la transferencia de agua durante la deshidratación osmótica de papa (*Solanum tuberosum* L.)

Reynaldo J. Silva Paz^{1,3}, **Patricia A. Della Rocca**¹, **Osvaldo D. Tisocco**³, **Rodolfo H. Mascheroni**²

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Química, Grupo de Investigación y Desarrollo en Tecnologías Químicas Aplicadas, IDETQA. Medrano 951, (C1179 AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

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

³ Universidad Nacional de Entre Ríos, Facultad de Ciencias de la Alimentación. Monseñor Tavella 1450, CP 3200 Concordia, Entre Ríos, Argentina

patriciadellarocca@hotmail.com

Recibido el 13 de mayo de 2014, aprobado el 31 de julio de 2014

Resumen

El principal objetivo de este trabajo fue estudiar la cinética de deshidratación osmótica de papa (*Solanum Tuberosum* L.). Se comparó el ajuste de los datos experimentales con el modelo cinético fenomenológico y con el modelo de Azuara. Para ello, en cubos de 1 cm de arista se evaluó el efecto de la temperatura (30 °C, 40 °C y 50 °C) sobre los coeficiente de difusión efectiva del agua y sólidos. Se determinó la pérdida de peso de agua y la ganancia de sólidos. Las mayores pérdidas de agua se obtuvieron a la temperatura de 50 °C.

Se calcularon los parámetros cinéticos ajustándose adecuadamente a los modelos matemáticos respectivos para la pérdida de agua y la ganancia de sólidos. Asimismo, se determinó la energía de activación mediante la ecuación de Arrhenius siendo superior la energía de activación para la difusión en la ganancia de sólidos.

PALABRAS CLAVE: PAPA - DIFUSIVIDAD EFECTIVA - DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA - MODELOS CINÉTICOS.

Abstract

The main purpose for this work is to study the osmotic dehydration kinetics of potatoes (*Solanum Tuberosum* L.). Thus, a comparison of fitness for the experimental data related to the phenomenological kinetic model and Azuara's model was made. When applying to 1 cm size potatoes cubes, effect of temperature (30 °C, 40 °C and 50°C) on effective diffusivity coefficients for both water and solids was measured. Water weight loss and solids increase was determined. The highest water loss occurred at 50 °C.

The different models kinetics parameters were calculated and a good fitness to mathematical respective relationships was obtained, both for water loss and solids increments. Furthermore, activation energy when applying Arrhenius equation was calculated, being higher for the diffusivity of solids gain.

KEYWORDS: POTATO – EFFECTIVE DIFFUSIVITY – OSMOTIC DEHYDRATION - KINETIC MODELS

Introducción

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo cuya producción mundial se estima en unos 309 millones de toneladas métricas (MMT) en los últimos años. Ocupa el cuarto lugar entre los cultivos alimenticios después del arroz, maíz y trigo (Carrasco et al., 1996). Se cultiva en numerosos países, con climas templados, tropicales y subtropicales; aunque es un cultivo de subsistencia. La papa y sus subproductos son significativamente importantes a nivel económico y nutricional (Sinha et al., 2011; Mujundar, 2006).

La composición química de la papa depende de muchos factores, incluyendo las características genéticas, la edad y la madurez, así como las condiciones ambientales, es decir, las condiciones climáticas y del suelo, tales como la fertilización, el uso de pesticidas y las enfermedades. El almidón es el componente básico de la materia seca de la papa, que contribuye principalmente a la cantidad de energía obtenida por su consumo. Contiene algunos polisacáridos no amiláceos, que constituyen la fibra dietética. La proteína en la papa es muy importante entre todos los nutrientes debido a su alto valor biológico. También contiene valiosos minerales, como el hierro y el magnesio, y vitaminas esenciales, como la vitamina C y varias de las vitaminas B (Mujundar y Sablani, 2006). La papa tiene menos calorías que el arroz, el queso y otros productos. El valor biológico de sus proteínas es un tanto inferior al de la carne, pero superior a la del trigo, las avenas y las verduras (Christiansen y Machuca, 1981).

La deshidratación osmótica (DO) consiste en la inmersión de un alimento sólido, entero o en piezas, en soluciones acuosas de alta concentración en solutos de azúcares y/o sales (hipertónica) a un tiempo y temperatura específicos. Las membranas de los alimentos son semipermeables por lo cual esta técnica provoca dos flujos principales simultáneos en contracorriente: de agua, de los tejidos biológicos a la solución osmótica y de solutos de la solución a los tejidos del alimento. Se da un importante flujo de agua del interior del alimento hacia el exterior, para tratar de equilibrar el potencial químico del agua a ambos lados de dichas membranas (Zapata et al., 2002). Además, existe otro flujo que consiste en una mínima pérdida de solutos propios del alimento (azúcares, sales minerales,

ácidos orgánicos y otros componentes) que son arrastrados por el agua que egresa del mismo y que aunque cuantitativamente es insignificante, puede tener alguna importancia a nivel nutricional y organoléptico. (Corzo y Centeno, 2003).

La DO es un método de conservación que reduce hasta un 80 % del agua original de los alimentos, permite obtener productos de humedad intermedia, con una buena calidad organoléptica. La solución osmótica que se usa para deshidratar el producto debe ser rica en solutos que deprimen la actividad de agua del mismo, y que generen una diferencia de presión osmótica entre el producto a deshidratar y la solución. Los solutos que normalmente se utilizan en las soluciones osmóticas, son de bajo costo, tales como la sacarosa, glucosa, fructuosa, cloruro de sodio, glicerol, sorbitol y combinaciones de éstos, presentando así un efecto sinérgico, como es el caso de la mezclas sacarosa-cloruro de sodio (Lerici, 1985). Generalmente, las soluciones de sacarosa son usadas para frutas y las soluciones de cloruro de sodio para vegetales (Ade Omowaye, 2002).

Existen estudios acerca de las principales variables que producen efecto sobre la deshidratación osmótica. Entre ellas se destacan las propiedades intrínsecas del producto como composición, tamaño, forma, presencia de piel, pretratamientos previos (Barat, Chiralt y Fito, 2001), y las de la solución osmótica como temperatura, concentración, naturaleza del agente osmótico, presión de trabajo, relación alimento - solución, tiempo y nivel de agitación (Gaspareto, Oliverira y Magalhaes, 2004; Lerici, 1985; Della Rocca y Mascheroni, 2009). El objetivo de este trabajo fue estudiar y modelar la cinética del proceso de deshidratación osmótica de cubos de papa y evaluar el efecto de la temperatura sobre la cinética de transferencia de masa (agua y solutos).

Materiales y métodos

Materia prima

Los tubérculos de papa se adquirieron en la cadena de supermercados COTO - Local Abasto de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Se seleccionaron utilizando las mismas condiciones de maduración, tamaño y firmeza, y se conservaron a 5 ± 2 °C hasta su procesamiento. Posteriormente, se lavaron y pelaron ma-

nualmente. Inmediatamente después se secaron con papel tissue y se cortaron en cubos de $1 \pm 0,1$ cm de arista.

Deshidratación osmótica

Se prepararon soluciones osmóticas con una mezcla de sacarosa (40 %) - cloruro de sodio (5 %) en la solución acuosa. Las temperaturas de trabajo fueron 30 °C, 40 °C y 50 °C. Se empleó una proporción masa/solución de 1:4 y un nivel de agitación de 120 ± 5 rpm por un tiempo de 10 horas. Los recipientes, que contenían la solución osmótica, ingresaron a la cámara orbital para controlar y mantener constante la temperatura de la solución y del ensayo. Los cubos de papa fueron sumergidos en los recipientes (vasos de precipitado de 2000 mL). Para el estudio de la variación de masa, las muestras identificadas fueron pesadas cada cierto intervalo de tiempo: 0, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300, 360, 420 y 480 min. Los ensayos se realizaron por triplicado.

Determinaciones analíticas

Peso y humedad

Las muestras fueron pesadas en una balanza analítica (Marca OHAUS-CLSERIES 201) de precisión 0,01 g, registrando el peso a cada intervalo de tiempo. El contenido de humedad de las muestras para cada tiempo se estableció, por el método gravimétrico de la A.O.A.C., (1996). Se extrajeron las muestras en los tiempos mencionados y las experiencias se hicieron en triplicado.

Transferencia de materia

La evolución de la transferencia de masa con el tiempo se midió a través de la pérdida de peso (WR); contenido de sólidos totales (TS); pérdida de agua (WL); ganancia de sólidos (GS), en cada tiempo.

$$H(\%) = 100 - TS(\%) \quad (1)$$

$$WR(\%) = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$TS(\%) = \left(\frac{m_s}{m_o} \right) \times 100 \quad (3)$$

$$WL(\%) = \left[\left(1 - \frac{TS^0}{100} \right) - \left(1 - \frac{TS}{100} \right) \left(1 - \frac{WR}{100} \right) \right] \times 100 \quad (4)$$

$$GS(\%) = \left[\left(1 - \frac{WR}{100} \right) \frac{TS}{100} - \frac{TS^0}{100} \right] \times 100 \quad (5)$$

Donde, m_i : masa inicial de muestra de papa fresca; m_f : masa de muestra deshidratada osmóticamente a tiempo t ; m_s : masa de muestra seca; m_o : masa de muestra fresca, H (%): porcentaje de humedad; TS^0 y TS : contenido de sólidos totales iniciales y en el tiempo, respectivamente.

Modelado matemático

Para el modelado de la pérdida de humedad y la ganancia de sólidos en el tiempo de inmersión en la solución osmótica, se aplicó el modelo de Biswal y Bozorgmehr; el cual puede ser modificado en las ecuaciones 6 y 7 – Biswal y Bozorgmehr modificado (Ochoa y Ayala, 2005; Vega Gálvez, 2007).

$$\Delta M_{WL} = K_{WL} t^{0.5} \quad (6)$$

$$\Delta M_{GS} = K_{GS} t^{0.5} \quad (7)$$

Donde, ΔM_{WL} : pérdida de agua en el tiempo, ΔM_{GS} : ganancia de sólidos en el tiempo; K_{WL} y K_{GS} : constantes de cinéticas fenomenológicas y t : tiempo.

Los valores de difusividad efectiva (D_e) de agua y de sólidos, fueron obtenidos ajustándolos al modelo matemático establecido por Azuara, Beristain y García (1992), utilizando las siguientes ecuaciones 8 y 9.

$$WL_t = \frac{S_1 * t * WL_{\infty}}{1 + S_1 * t} \quad (8)$$

$$GS_t = \frac{S_2 * t * GS_{\infty}}{1 + S_2 * t} \quad (9)$$

Donde, WL_t , GS_t y WL_{∞} , GS_{∞} : pérdida de agua y ganancia de sólidos en un tiempo t y en el equilibrio, (a tiempo infinito), respectivamente; S_1 y S_2 : constantes de velocidad relativas a la pérdida de agua y a la ganancia de sólidos, respectivamente. Linealizando las ecuaciones 8 y 9, se obtienen los parámetros S_1 , S_2 y WL_{∞} , GS_{∞} .

Además, relacionando el modelo con la solu-

ción simplificada de la ley de Fick, se puede calcular el coeficiente de difusión efectivo (D_e) para la pérdida de agua como se muestra en la ecuación 10 (Azuara, Beristain y Garcia, 1992).

$$D_e = \frac{\pi t}{4} \left[\left(\frac{S_n \cdot L}{1 + S_n \cdot t} \right) \left(\frac{WL_{\infty}^{\text{mod}}}{WL_{\infty}^{\text{exp}}} \right) \right]^2 \quad (10)$$

En la ecuación 10, WL_{∞}^{mod} y WL_{∞}^{exp} corresponden a la pérdida de agua en el equilibrio modelada y experimental. Debido a que se trata de cubos y no de láminas semi-infinitas como en el trabajo original de Azuara, Beristain y García, (1992), L corresponde a la tercera parte del espesor del cubo (Rastogi y Niranjan, 2004). A partir de este valor se calculó la difusividad para la pérdida de agua y la ganancia de sólidos.

Para determinar la dependencia de la difusividad efectiva con la temperatura, se utilizó la ecuación de Arrhenius (ecuación 11) (Silmal, 2000 y Vega Galvez et al., 2007).

$$D_e = D_o * \exp \frac{E_a}{R \cdot T} \quad (11)$$

Donde, D_e : difusión efectiva, D_o : constante difusional, E_a : energía de activación, R : constante de los gases, T : temperatura absoluta.

Se calculó la media y la desviación estándar de los datos y el ajuste de los valores experimentales se analizaron a través del coeficiente de correlación (r^2).

Resultado y discusiones

Deshidratación osmótica

En la Fig. 1 se presentan los resultados obtenidos para las pérdidas de peso experimentadas por los cubos de papa a distintas temperaturas sumergidos en solución de sacarosa al 40 % m/m y cloruro de sodio 5 % m/m, la relación masa de producto-masa de solución es de 1:4. La pérdida de peso se incrementa con el tiempo y es mayor cuando aumenta la temperatura. En las primeras horas se observa una notable velocidad de pérdida, particularmente a 40 °C y 50 °C. Esta velocidad se reduce a partir de la 2 a 3 h de proceso, similares resultado presentaron Della Rocca y Mascheroni (2010).

La pérdida de peso sigue una cinética similar a la pérdida de agua, aumentando con el tiempo y siendo mayor con el incremento de la temperatura, tendiendo al equilibrio a partir de la 2 h de proceso, tal como se muestra en la Fig. 2. Este comportamiento concuerda con los resultados obtenidos por Azuara, García y Beristain (1996); Eren y Kaymal Ertekin (2007), y Della Rocca y Mascheroni (2009).

En relación a la ganancia de sólidos (Fig. 3), en las primeras horas se observa una tendencia a ganar sólidos a las distintas temperaturas utilizadas. Esto es más notorio a 50° C, probablemente debido a que a mayor temperatura se aumenta la acción de los mecanismos hidro-

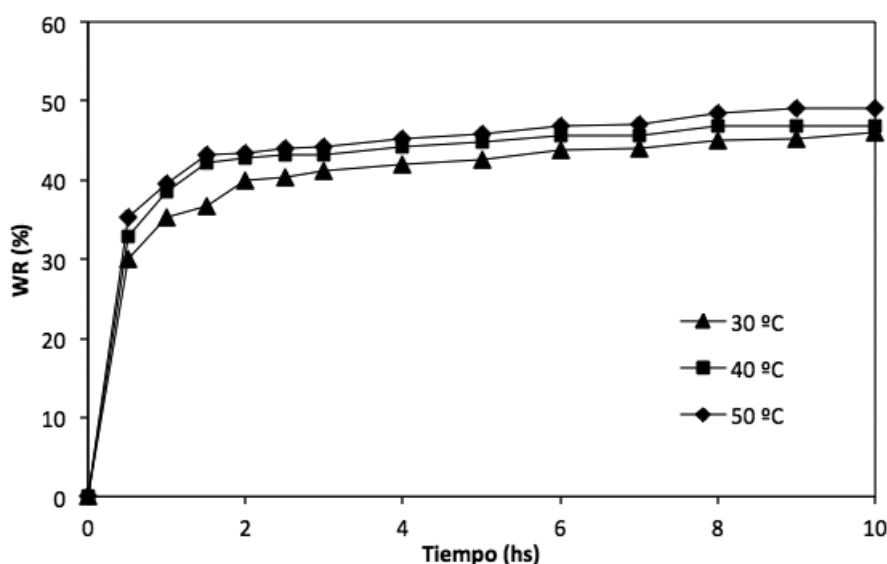


Fig. 1. Pérdida de peso a diferentes temperaturas durante la deshidratación osmótica

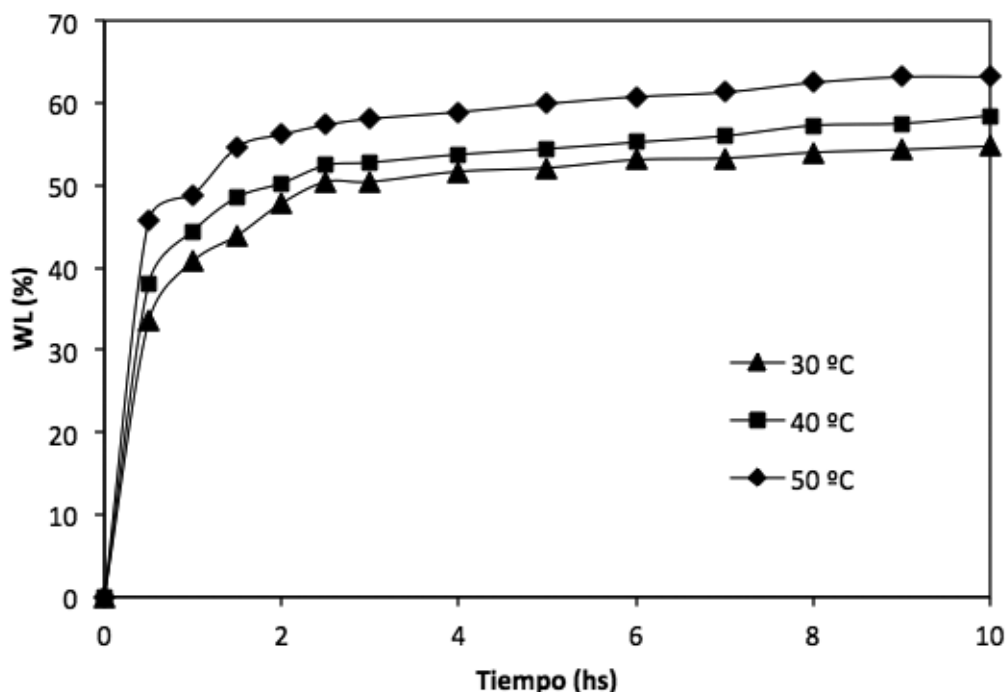


Fig. 2. Pérdida de agua a diferentes temperaturas durante la deshidratación osmótica

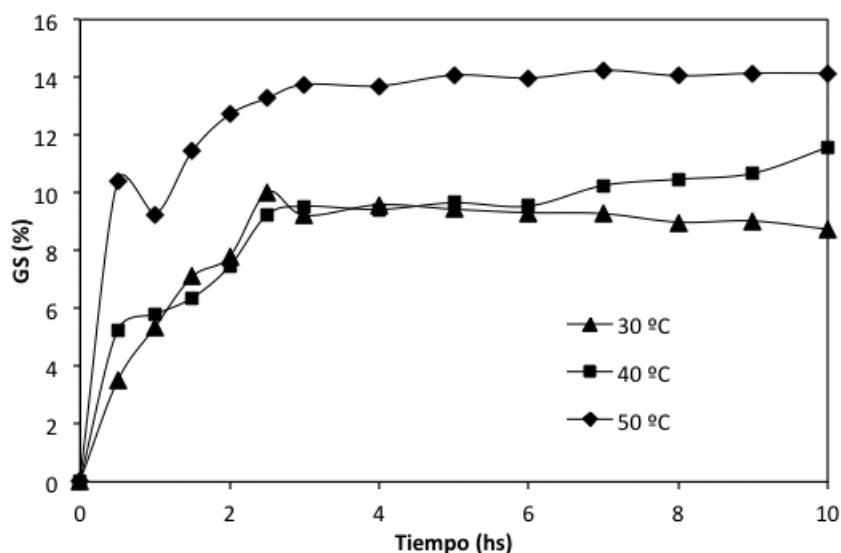


Fig. 3. Ganancia de sólidos a diferentes temperaturas durante la deshidratación osmótica

dinámicos lo que provoca la ganancia inicial de sólidos de la solución osmótica (Giraldo, 2003). Sin embargo, después de 2 a 3h de deshidratación osmótica, se aprecia en todas las curvas, una tendencia a ganar sólidos levemente gradual, a medida que se tiende al equilibrio, aunque todavía se está lejos de alcanzarlo.

temperaturas superiores la ganancia de sólidos, la pérdida de peso y de agua se incrementan. Este mismo comportamiento lo observaron Salvatori y Alzamora (2000); Vega Galvez et al. (2007), y Maldonado et al. (2008), los cuales deshidrataron diversos frutihortícolas.

Modelo matemático

En general, tanto para la pérdida de peso, agua y ganancia de sólidos, la temperatura tiene una marcada influencia, debido a que a

Cinética Fenomenológica – Modelo de Biswal y Bozorgmehr modificado.

De acuerdo a los valores obtenidos en la Tabla 1, se observa que la temperatura influye en la cinética de pérdida de agua y de ganancia de sólidos, ya que con el incremento de la temperatura, el valor absoluto promedio de estos parámetros cinéticos aumenta.

Temperatura	K _w	K _s
30 °C	22,397	3,819
	±0,08	±0,13
40 °C	23,664	4,495
	±0,29	±0,14
50 °C	26,003	5,902
	±0,19	±0,18

Tabla 1. Valores de los parámetros cinéticos para el agua (Kw) y los sólidos (Ks) a diferentes temperaturas (Modelo de Biswal y Bozorgmehr modificado.)

Modelo de Azuara – Coeficiente de difusión

En la Tabla 2 se presentan los parámetros de ajuste del modelo de Azuara, tanto para la pér-

dida de agua como para la ganancia de sólidos, obtenidos para las diferentes temperaturas. Los coeficientes de correlación indican un ajuste satisfactorio entre los datos experimentales y el modelo de Azuara. Los valores de difusividad obtenidos son del orden de magnitud que los reportados por Lenard y Flink (1984), y Mauro y Menegalli (2003), en láminas de papa.

Por otra parte, se observa que los valores de pérdida de agua a tiempo infinito para el modelo de Azuara varían en un 12,5% entre el valor superior e inferior y en el caso del coeficiente de difusión en un 4,9 %. Para en el caso de la difusividad efectiva de los sólidos estas variaciones son mayores, su influencia no es del todo clara, esto podría ser originado por la formación de una capa de azúcar superficial, que dificultaría la difusión en ambos sentidos, también a los cambios en las propiedades físicas del alimento, tales como la permeabilidad de la célula y la porosidad (Rastogi y Raghava-rao, 2004). Asimismo, los valores de difusividad son similares a los encontrados en la literatura (Della Rocca y Mascheroni (2009); Vega et al.

Temperatura	WL [∞] (%)	WL ^{ex} (%)	s ₁ (min) ⁻¹	D _{ew} (m ² /s)	R ²
30 °C	55,8659218	54,7437736	4,62857143	1,22457E-09	0,9991
40 °C	59,1715976	58,4485026	3,31372549	1,18517E-09	0,9987
50 °C	64,1025641	63,1464901	2,3164557	1,16216E-09	0,9991
Temperatura	GS [∞] (%)	GS ^{ex} (%)	s ₂ (min) ⁻¹	D _{es} (m ² /s)	R ²
30 °C	9,38967136	8,74377358	3,62244898	1,34022E-09	0,9898
40 °C	11,682243	11,5744233	1,21590909	1,0674E-09	0,9861
50 °C	14,5560408	14,1437736	3,90340909	1,23569E-09	0,9984

Tabla 2. Valores de los parámetros de Azuara y de difusividad efectiva del agua (De w) y difusividad efectiva de sólidos (De s) sometido a diferentes temperaturas.

K _w		K _s	
E _a (kJ/mol)	K _{o w} (m ² /s)	E _a (kJ/mol)	K _{o s} (m ² /s)
87,587	24,5186	255,47	4,148
D _{ew}		D _{es}	
E _a (kJ/mol)	D _{o w} (m ² /s)	E _a (kJ/mol)	D _{o s} (m ² /s)
30,859	5,103E-10	50,12	3,189E-10

Tabla 3. Valores de energía de activación, parámetros cinéticos Kw y Ks, y difusividades De w y De s para el agua y los sólidos respectivamente

(2007); Eren y Kaymak Ertekin (2006); Mauro y Menegalli (2003) y Lenard y Flink (1984)).

Energía de Activación – Modelo de Arrhenius

Los valores de energía de activación (E_a) y su respectivo parámetro cinético para el modelo de Biswal y Bozorgmehr modificado y la difusividad efectiva para el modelo fenomenológico para la transferencia de agua y de sólidos solubles calculados mediante la ecuación de Arrhenius, se presentan en la Tabla 3. Se puede apreciar que es menor la energía de activación para la cinética fenomenológica que la calculada con el modelo de Biswal y Bozorgmehr modificado, tanto para la transferencia de agua como para la de sólidos. Estos valores son similares a los reportados por Vega et al. (2007), que deshidrató papaya chilena.

Conclusiones

La mayor velocidad de pérdida de agua y ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica de papa se obtuvo durante las primeras horas de proceso (2-3 h) luego, la velocidad disminuye al tender al equilibrio. Los datos experimentales se ajustan satisfactoriamente al modelo de Biswal y Bozorgmehr modificado, como también al modelo de Azuara, tanto para el agua como para los sólidos. Los valores de energía de activación son superiores para los sólidos que para el agua, en concordancia con la mayor complejidad del proceso de difusión de los sólidos respecto del agua.

A temperaturas superiores se obtiene una mayor pérdida de peso, agua y ganancia de sólidos durante el proceso de deshidratación osmótica.

Referencias

- ADE OMOWAYE, B. et al. 2002. Osmotic Dehydration Behavior of Red Paprika (*Capsicum Annuum* L.). *Journal of Food Science*, v. 67, n. 5, p. 1790-1796.
- A.O.A.C. 1996. "Official Method of Analysis", Association of Official Analytical Chemists (nº 934.06). Arlington, USA.
- AZUARA, E.; BERISTAIN, C. y GARCÍA, H. S. 1992. Development of a mathematical model to predict kinetics of osmotic dehydration. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 29 p. 239-242.
- AZUARA, E.; GARCÍA, H. S. Y BERISTAIN, C. 1996. Effect of the centrifugal force on osmotic dehydration of potatoes and apples. *Food Research International*, v. 29 n.2. p. 195-199.
- CORZO, O.; CENTENO, A. E. 2003. Superficies de respuesta de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica del melón (*Cucumis melo*, variedad Edisto). *Revista de la Facultad de Farmacia*, v. 45, n. 1, p. 54-60.
- BARAT, J. M.; CHIRALT, A.; FITO, P. 2001. Effect of Osmotic Solution Concentration, Temperature and Vacuum Impregnation Pretreatment on Osmotic Dehydration Kinetics of Apple Slices. *Food Science Technology*, v. 7, n. 5, p. 451-456.
- CARRASCO, E.; TERRAZAS, F.; CALDERÓN, R. y THIELE, G. Los tubérculos andinos: tesoro de los Andes. Alimentos del mundo andino: ciclo de conferencias sobre alimentos, abril de 1996, Cochabamba, Bolivia.
- CHRISTIANSEN, J. y MACHUCA, R. 1981. La papa; su utilización. Guatemala, I.C.T.A. 50 p.
- DELLA ROCCA, P. y MASCHERONI, R. 2009. Deshidratación osmótica de papas. Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas – CLICAP, Universidad Nacional de Cuyo (UNCu) - San Rafael.
- DELLA ROCCA, P. y MASCHERONI, R. 2010. Deshidratación de papas por métodos combinados de secado: deshidratación osmótica, secado por microondas y convección con aire caliente. *Revista de Proyecciones*, 8:(2), UTN –FRBA. Buenos Aires, República Argentina.
- EREN, I. y KAYMAK ERTEKIN, F. 2007. Optimization of osmotic dehydration of potato using response surfacemethodology. *Journals Of Food Engineering*,v. 79 p. 344-352.
- GASPARETO, O.; OLIVEIRA, E. y MAGALHAES. 2004. Influencia del tratamiento osmótico en el secado de la banana "Nanica" (*Musa cavendishii*, L.) en secador de lecho fijo. *Información Tecnológica*, v. 15, n. 6, p. 9-15.
- GIRALDO, G. et al. 2003. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Engineering*, v. 58, n. 1, p. 33-43.
- LERICI, C. L. et al. 1985. Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of Food Science*, v. 50, n. 1, p. 1217-1219.
- LENARD, A y FLINK, J. 1984. Osmotic Concentration of Potato. I. Criteria for the End – point of the Osmosis Process. En: *Journal of Food Technology*. 19 ; p.45 – 63.
- OCHOA, C. I. y AYALA, A. 2005. Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, v. 4, n. 5, p. 330-342.
- RASTOGI, N. K. y RAGHAVARAO, K. S. M. S. 2004. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. *Food Science and Technology*, v. 37, n. 1, p. 43-47.
- SIMAL, S. et al. 2000. Dehydration of aloe vera: simulation of drying curves and evaluation of functional properties. *Journal of Food Engineering*, v. 43, n. 2, p. 109-114.
- SINHA, N.; HUI, Y.H.; EVRANUZ, E.; SIDDIQ, M. y AHMED, J. 2011. *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*. Ed. Wiley-BlackWell.
- SALVATORI, D. y ALZAMORA, S.M. 2000. Structural changes and mass transfer during glucose infusion of apples as affected by blanching and process variables. *Drying Technology*,v. 28p. 361-381.
- MAURO, M. y MENEGALLI, F. 2002. Evaluation of water and sucrose diffusion coefficients in potato tissue during osmotic concentration. *Journals Of Food Engineering*, v. 57, p. 367-374.
- MALDONADO, S.; SANTAPAOLA, J. E.; SINGH, J.; TORREZ, M. y GARAY, A. 2008. Cinética de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, v. 28, n. 1, p. 330-342.
- MUJUMDAR, S. 2006. *Handbook of Industrial Drying*. 3er Ed. Taylor & Francis Group, LLC. New York.
- VEGA GALVEZ, A.; PALACIOS, M.; BOGLIO, F.; PASSARO, C.; JEREZ, C. y LEMUS MONDACA, R. 2007. Deshidratación osmótica de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*) e influencia de la temperatura y concentración de la solución sobre la cinética de transferencia de materia. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, Campinas, v.27 n. 3, p. 470-477.
- ZAPATA, J.; CARVAJAL, L. y OSPINA, N. 2002. Efectos de la concentración de solutos y la relación jarabe/fruta sobre la cinética de deshidratación osmótica de papaya en láminas. *Interciencia*, v. 27, n. 5, p. 1-14.

La importancia analítica de las reacciones umbral en análisis por activación neutrónica y los problemas de disponibilidad, trazabilidad y consistencia de los datos nucleares

Isaac Marcos Cohen

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

mcohen@frba.utn.edu.ar

Recibido el 6 de junio de 2014, aprobado el 25 de julio de 2014

Resumen

Se discute la influencia de las reacciones umbral, inducidas por la componente rápida del espectro neutrónico, en el análisis por activación en reactores nucleares. Se describen ejemplos de su importancia analítica. Se reseña el estado actual de los datos de secciones eficaces de reacciones umbral publicados en la literatura. Se discuten la disponibilidad y la validez de estos datos, sobre la base de su trazabilidad y su consistencia.

PALABRAS CLAVE: ANÁLISIS POR ACTIVACIÓN – REACTORES NUCLEARES – REACCIONES UMBRAL – SECCIONES EFICACES

Abstract

The influence of the threshold reactions, induced by the fast component of the neutron spectrum, in nuclear reactor activation analysis, is discussed. Some examples of their analytical importance are described. The present status of the cross-section data of the threshold reactions published in the literature is reviewed. The availability and the validity of these data, on the basis of their traceability and consistency, are discussed.

KEYWORDS: ACTIVATION ANALYSIS - NUCLEAR REACTORS – THRESHOLD REACTIONS – CROSS-SECTIONS

Introducción

El desarrollo de la espectrometría gamma de alta resolución, a partir de la producción de detectores semiconductores de adecuado tamaño, excelentes programas de tratamiento de espectros y computadoras de amplia capacidad de almacenamiento y procesamiento de datos, representó para el análisis por activación, agregar a sus múltiples cualidades, la posibilidad de efectuar determinaciones multielementales en forma simultánea y con muy buena selectividad. El empleo creciente de los reactores nucleares como instalaciones de irradiación implicó además la factibilidad de activar numerosas muestras en un mismo ciclo, aumentando por consiguiente la potencialidad de la técnica para brindar respuestas a las demandas analíticas.

Tal progreso conllevó también la necesidad de buscar alternativas a la utilización del clásico patrón de comparación, compuesto por todos los elementos involucrados en el proceso de análisis, pues su preparación pasó a resultar no solo engorrosa, sino fuertemente sujeta a posibles errores. Los métodos tradicionales fueron así reemplazados por los llamados métodos paramétricos, donde un conjunto reducido de comparadores alcanza para establecer las condiciones del flujo neutrónico, y las actividades medidas se relacionan con la masa de sus precursores (los elementos a ser determinados) mediante las correspondientes constantes nucleares.

La premisa implícita en este caso es que los productos de activación se forman a partir de reacciones de captura (reacciones donde el núcleo blanco absorbe un neutrón y se desexcita emitiendo un fotón). Tal suposición se asienta en el hecho de que el flujo de neutrones térmicos, que dan origen a este tipo de reacciones, es muy alto, como también lo son las correspondientes secciones eficaces, que expresan la probabilidad de que la reacción ocurra. Tanto para las secciones eficaces térmicas como para las integrales de resonancia, que representan la probabilidad de reacción de los neutrones epitérmicos (neutrones que han perdido su energía por choques con el moderador pero que no han llegado al equilibrio térmico el medio) las bibliotecas de datos son razonablemente completas y confiables.

nuclear tienen también una componente de neutrones rápidos que pueden inducir otras reacciones, conocidas como reacciones umbral (porque se originan a partir de neutrones de una determinada energía, superior a un umbral energético) aun cuando sus secciones eficaces son generalmente más bajas.

La influencia de las reacciones umbral es pocas veces considerada, y posiblemente ignorada en la mayor parte de los trabajos de análisis por activación, donde se incluyen los valores de los flujos térmico y epitérmico de los reactores empleados, pero se omite la información acerca de la componente rápida. En estos casos es válido preguntarse si la ausencia de tales menciones es consecuencia de la verificación de efectos no significativos, o bien denuncia la inexistencia de evaluación exhaustiva.

La idea de considerar solamente a las reacciones de captura en el proceso de análisis puede conducir a errores serios. Las reacciones umbral constituyen potenciales interferencias analíticas cuando el producto de reacción es el mismo que el de una reacción de captura generado en otro elemento.

Un factor adicional, en este caso positivo, que refuerza la necesidad de explorar la producción de reacciones umbral en un reactor nuclear, es su aplicación como alternativa de determinación de varios elementos, en forma complementaria al empleo de reacciones de captura, o cuando éstas no son aplicables.

Por último, es necesario considerar la influencia de las reacciones umbral como factores de distorsión de las constantes empleadas en el análisis por activación paramétrico, que será discutida más adelante.

En el presente trabajo se describirán algunos ejemplos que ilustran la importancia de las reacciones umbral desde la óptica de los tres aspectos antes mencionados y se discutirán los problemas derivados de la necesidad de disponer de datos confiables de secciones eficaces para estas reacciones, para su aplicación con fines analíticos.

Las interferencias originadas por reacciones umbral

Las posiciones de mayor flujo en un reactor

Las reacciones umbral que actúan como interfe-

rencias de las de captura son, básicamente, las reacciones (n,p) y (n,α) (absorción de un neutrón y eyección de un protón o de una partícula alfa, respectivamente). El caso más directo es el de un elemento mayor en una muestra que actúa como interferencia de otro presente en concentraciones menores o en niveles de traza; también puede darse entre elementos que no son componentes mayores de la matriz, y cuyos contenidos difieren en órdenes de magnitud. Una modalidad del análisis por activación, que consiste en el empleo de filtros de boro o cadmio para absorber los neutrones térmicos (análisis por activación con neutrones epitérmicos) es un factor multiplicador del grado de interferencia de las reacciones umbral, dado que la influencia de los neutrones rápidos aumenta en función de la notable disminución de la actividad inducida por reacciones de captura.

Algunas de las reacciones que potencialmente o en forma reconocida generan efectos significativos de interferencia, se muestran en la

Tabla 1. La lista no es exhaustiva y tiene solo fines ilustrativos.

Las reacciones umbral como alternativas de determinación analítica

A pesar de que la determinación de la mayoría de los elementos naturales puede llevarse a cabo por reacciones de captura, algunos son difícilmente determinables, debido a desfavorables características de los precursores (abundancias isotópicas o secciones eficaces muy bajas) o bien de los productos (periodos de semidesintegración muy cortos o muy largos¹, emisión de radiaciones de difícil detección).

En la Tabla 2 se ejemplifican varias reacciones umbral que pueden ser empleadas con fines de determinación. Algunas de ellas han encontrado amplia aplicación analítica; tal es el caso de la reacción ⁵⁸Ni(n,p)⁵⁸Co, que es la opción recomendada inclusive en comparación con una reacción de captura factible, ⁶⁴Ni(n,γ)⁶⁵Ni, la medición de cuyo producto resulta frecuen-

Reacción Principal	Interferencia	Observaciones
¹⁹ F(n,γ) ²⁰ F	²³ Na(n,α) ²⁰ F	Significativa en la mayoría de las matrices, donde abunda el sodio
²³ Na(n,γ) ²⁴ Na	²⁴ Mg(n,p) ²⁴ Na; ²⁷ Al(n,α) ²⁴ Na	Ambas introducen usualmente pequeños factores de corrección, sobre todo en materiales geológicos
²⁶ Mg(n,γ) ²⁷ Mg	²⁷ Al(n,p) ²⁷ Mg; ³⁰ Si(n,α) ²⁷ Mg	Muy importantes en materiales geológicos
²⁷ Al(n,γ) ²⁸ Al	²⁸ Si(n,p) ²⁸ Al; ³¹ P(n,α) ²⁸ Al	La interferencia del fósforo es de importancia en materiales biológicos
³¹ P(n,γ) ³² P	³² S(n,p) ³² P; ³⁵ Cl(n,α) ³² P	La interferencia del azufre es significativa en muestras biológicas
³⁶ S(n,γ) ³⁷ S	³⁷ Cl(n,p) ³⁷ S	Posiblemente, muy importante en materiales biológicos
⁴⁶ Ca(n,γ) ⁴⁷ Ca(β ⁻) ⁴⁷ Sc	⁴⁷ Ti(n,p) ⁴⁷ Sc	Impide la determinación de calcio por neutrones epitérmicos; interferencia importante en toda condición
⁴⁵ Sc(n,γ) ⁴⁶ Sc	⁴⁶ Ti(n,p) ⁴⁶ Sc	Significativa en el análisis con neutrones epitérmicos
⁵⁰ Cr(n,γ) ⁵¹ Cr	⁵⁴ Fe(n,α) ⁵¹ Cr	Significativa en materiales biológicos
⁶⁴ Ni(n,γ) ⁶⁵ Ni	⁶⁵ Cu(n,p) ⁶⁵ Ni	
⁶³ Cu(n,γ) ⁶⁴ Cu	⁶⁴ Zn(n,p) ⁶⁴ Cu	Puede conducir a errores significativos, tanto en materiales biológicos como en geológicos

Tabla 1. Algunos ejemplos de interferencias por reacciones umbral

1 Periodo de semidesintegración, o simplemente período, es el tiempo en el cual la actividad de una población de átomos radiactivos decae a la mitad de su valor inicial.

Elemento	Reacción	Observaciones
flúor	$^{19}\text{F}(\text{n},\text{p})^{19}\text{O}$	La interferencia de $^{18}\text{O}(\text{n},\gamma)^{19}\text{O}$ no es significativa cuando se irradia bajo cadmio
silicio	$^{28}\text{Si}(\text{n},\text{p})^{28}\text{Al}$ $^{29}\text{Si}(\text{n},\text{p})^{29}\text{Al}$	Interferida por $^{27}\text{Al}(\text{n},\gamma)^{28}\text{Al}$ y $^{31}\text{P}(\text{n},\alpha)^{28}\text{Al}$ Libre de interferencias
fósforo	$^{31}\text{P}(\text{n},\alpha)^{28}\text{Al}$	Aplicable al análisis de materiales biológicos
azufre	$^{32}\text{S}(\text{n},\text{p})^{32}\text{P}$	Método posible para la determinación de azufre; interfieren $^{31}\text{P}(\text{n},\gamma)^{32}\text{P}$ y $^{35}\text{Cl}(\text{n},\alpha)^{32}\text{P}$; requiere separación radioquímica del ^{32}P
titanio	$^{46}\text{Ti}(\text{n},\text{p})^{46}\text{Sc}$	Interferida por $^{45}\text{Sc}(\text{n},\gamma)^{46}\text{Sc}$, aun por irradiación bajo cadmio
	$^{47}\text{Ti}(\text{n},\text{p})^{47}\text{Sc}$	La interferencia por $^{46}\text{Ca}(\text{n},\gamma)^{47}\text{Ca}(\beta^-)^{47}\text{Sc}$ es mínima irradiando bajo cadmio; el método es recomendable incluso con relación a $^{50}\text{Ti}(\text{n},\gamma)^{51}\text{Ti}$
	$^{48}\text{Ti}(\text{n},\text{p})^{48}\text{Sc}$	Libre de interferencias
hierro	$^{54}\text{Fe}(\text{n},\text{p})^{54}\text{Mn}$	Complementaria a la reacción de captura
níquel	$^{58}\text{Ni}(\text{n},\text{p})^{58}\text{Co}$	Método recomendado para la determinación de níquel
itrio	$^{89}\text{Y}(\text{n},2\text{n})^{88}\text{Y}$	Aplicación restringida, por su baja sección eficaz
niobio	$^{93}\text{Nb}(\text{n},2\text{n})^{92}\text{Nb}$; $^{93}\text{Nb}(\text{n},\text{n}')^{93\text{m}}\text{Nb}$	Aplicables en casos especiales, pues la concentración de niobio es usualmente muy baja.
talio	$^{203}\text{Tl}(\text{n},2\text{n})^{202}\text{Tl}$	Requiere separación radioquímica del producto, para mejorar la sensibilidad
plomo	$^{204}\text{Pb}(\text{n},2\text{n})^{203}\text{Pb}$; $^{204}\text{Pb}(\text{n},\text{n}')^{204\text{m}}\text{Pb}$	Requiere en ambos casos separación radioquímica de los productos, para mejorar la sensibilidad

Tabla 2. Reacciones umbral como alternativa de determinación analítica

temente enmascarada por la presencia de actividades más altas originadas por otros elementos de constantes nucleares más favorables, como el manganeso. Otra reacción, $^{54}\text{Fe}(\text{n},\text{p})^{54}\text{Mn}$, se utiliza para la determinación de hierro en forma complementaria a la reacción de captura, $^{58}\text{Fe}(\text{n},\gamma)$, con fines de comprobación de resultados.

Distorsión de las constantes del análisis por activación paramétrico a causa de las reacciones umbral

Las reacciones (n,2n) y, especialmente, las (n,n') (absorción de un neutrón y eyección de dos neutrones o de otro neutrón, respectivamente) configuran un caso especial dentro de la influencia de las reacciones umbral. En muchos

casos, dichas reacciones representan una contribución a la actividad generada por reacciones de captura, algunos ejemplos de las cuales pueden verse en la Tabla 3. Tales aportes a la actividad total mejoran las posibilidades de detección del elemento y, por lo tanto, mejoran la sensibilidad analítica. En consecuencia, deberían ser tratados por el analista como un efecto deseable. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que a diferencia del análisis comparativo convencional, el empleo de métodos paramétricos debe incluir específicamente a estas contribuciones para efectuar el cálculo completo de la relación entre la masa del elemento y la actividad del radionucleido medido. Esta situación llega a hacer más complejo el proceso de su realización práctica; De Corte y colaboradores (1987) consideran su tratamiento como el de

interferencias primarias con respecto a las reacciones (n, γ). El concepto es discutible, aplicado a la situación del elemento.

La Tabla 3 muestra algunos ejemplos de reacciones umbral que distorsionan la relación entre la actividad del radionucleido y la masa del precursor, cuando solo la reacción de captura es considerada.

Aplicaciones experimentales

En este apartado se describirán someramente algunas aplicaciones de las reacciones umbral, sobre la base de trabajos en los que el autor ha tenido intervención directa.

Las reacciones umbral han sido empleadas en el desarrollo de métodos de determinación de flúor (Cohen, 1991; Aisenberg y colaboradores, 1971); fósforo (Furnari y Cohen, 1994); titanio (Espinosa García y Cohen, 1984) y talio (Cohen y colaboradores, 1982).

La determinación de flúor a partir de la reacción $^{19}\text{F}(n,\gamma)^{20}\text{F}$ presenta el inconveniente de su corto periodo de semidesintegración (11,0 s) pero el principal problema asociado a su determinación es la interferencia generada por el sodio a través de la reacción $^{23}\text{Na}(n,\alpha)^{20}\text{F}$. El sodio es relativamente abundante en la mayor parte de las matrices donde se requiere la determinación de flúor, como los materiales biológicos, de forma tal que su interferencia debe ser siempre contemplada. La reacción (n,p) sobre ^{19}F da origen al ^{19}O , que tiene un periodo algo más largo (27,1 s) y puede ser medido sin inconvenientes; la principal ventaja de esta reacción

es que la eventual interferencia de la reacción $^{18}\text{O}(n,\gamma)^{19}\text{O}$, cuyo precursor tiene abundancia isotópica baja (0,205 %) puede minimizarse mediante irradiación bajo cobertura de cadmio. El límite de detección que se obtuvo en muestras de dientes fue de 50 $\mu\text{g/g}$.

La reacción de captura sobre ^{31}P , único isótopo estable del fósforo, conduce al ^{32}P , emisor beta puro que para su medición requiere ser aislado por separación radioquímica de todas las demás especies radiactivas presentes en una muestra irradiada. La reacción $^{31}\text{P}(n,\alpha)^{28}\text{Al}$ puede ser aplicada en forma alternativa; el ^{28}Al emite radiación gamma de energía conveniente y su periodo es adecuado para la medición (2,24 min.) pero es necesario considerar que la reacción $^{27}\text{Al}(n,\gamma)^{28}\text{Al}$ sobre aluminio también se producirá durante la irradiación. Mediante irradiaciones de muestras desnudas y bajo cadmio se planteó un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas que permitió la determinación simultánea de fósforo y aluminio en material biológico. Es interesante hacer notar que la ausencia de datos confiables sobre la sección eficaz de la reacción (n, α) sobre el fósforo obligó a la determinación de un nuevo valor (Cohen y colaboradores, 1993).

La determinación de titanio es corrientemente requerida en el análisis de materiales geológicos. La única reacción de captura posible conduce a ^{51}Ti , emisor gamma de energía relativamente baja, cuya medición suele ser enmascarada por varias interferencias, principalmente aluminio, magnesio y manganeso. Los estudios efectuados sobre las reacciones $^{46}\text{Ti}(n,p)^{46}\text{Sc}$, $^{47}\text{Ti}(n,p)^{47}\text{Sc}$ y $^{48}\text{Ti}(n,p)^{48}\text{Sc}$ mostraron que la segunda de ellas es no solo aplicable, sino que

Reacción de captura	Reacción umbral
$^{46}\text{Ca}(n,\gamma)^{47}\text{Ca}$	$^{48}\text{Ca}(n,2n)^{47}\text{Ca}$
$^{76}\text{Se}(n,\gamma)^{77\text{m}}\text{Se}$	$^{77}\text{Se}(n,n')^{77\text{m}}\text{Se}; ^{78}\text{Se}(n,2n)^{77\text{m}}\text{Se}$
$^{86}\text{Sr}(n,\gamma)^{87\text{m}}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}(n,n')^{87\text{m}}\text{Sr}; ^{88}\text{Sr}(n,2n)^{87\text{m}}\text{Sr}$
$^{110}\text{Cd}(n,\gamma)^{111\text{m}}\text{Cd}$	$^{111}\text{Cd}(n,n')^{111\text{m}}\text{Cd}; ^{112}\text{Cd}(n,2n)^{111\text{m}}\text{Cd}$
$^{116}\text{Sn}(n,\gamma)^{117\text{m}}\text{Sn}$	$^{117}\text{Sn}(n,n')^{117\text{m}}\text{Sn}; ^{118}\text{Sn}(n,2n)^{117\text{m}}\text{Sn}$
$^{194}\text{Pt}(n,\gamma)^{195\text{m}}\text{Pt}$	$^{195}\text{Pt}(n,n')^{195\text{m}}\text{Pt}; ^{195}\text{Pt}(n,2n)^{195\text{m}}\text{Pt}$

Tabla 3. Reacciones umbral que incrementan la actividad inducida por reacciones de captura

constituye una mejor opción, con respecto a la reacción de captura. La interferencia de la reacción $^{46}\text{Ca}(n,\gamma)^{47}\text{Ca}(\beta^-)^{47}\text{Sc}$ es mínima irradiando bajo cadmio.

El talio es un elemento tóxico cuyas sales son empleadas para la eliminación de roedores. Muchos casos de intoxicaciones se registran frecuentemente; por tal razón, su determinación en material biológico, especialmente en orina, es especialmente requerida. Los productos de las reacciones de captura sobre talio no emiten radiación gamma, por cuya razón su medición es muy compleja. El empleo de la reacción $^{203}\text{Tl}(n,2n)^{202}\text{Tl}$ constituye una alternativa válida para su determinación. Combinando métodos de preconcentración y separación radioquímica es posible alcanzar límites de detección de 0,5 $\mu\text{g/l}$ en muestras de orina.

Varios estudios sobre interferencias mutuas entre reacciones de captura y reacciones umbral han sido desarrollados (Cohen, 1991). Los pares estudiados fueron: $^{46}\text{Ca}(n,\gamma)^{47}\text{Ca}(\beta^-)^{47}\text{Sc}$ y $^{47}\text{Ti}(n,p)^{47}\text{Sc}$ (interferencias entre calcio y titanio); $^{45}\text{Sc}(n,\gamma)^{46}\text{Sc}$, $^{47}\text{Ti}(n,p)^{47}\text{Sc}$ y $^{48}\text{Ti}(n,p)^{48}\text{Sc}$ (interferencias entre titanio y escandio); $^{55}\text{Mn}(n,\gamma)^{56}\text{Mn}$ y $^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$ (interferencias entre manganeso y hierro); finalmente, $^{63}\text{Cu}(n,\gamma)^{64}\text{Cu}$ y $^{64}\text{Zn}(n,p)^{64}\text{Cu}$ (interferencias entre cobre y zinc). Los resultados muestran la necesidad de evaluación de estas interferencias en cualquier proceso de determinación por análisis por activación en reactores nucleares. La conclusión más significativa de este estudio es que el análisis por activación con neutrones epitérmicos para la determinación de calcio en materiales geológicos a partir de la reacción $^{46}\text{Ca}(n,\gamma)^{47}\text{Ca}(\beta^-)^{47}\text{Sc}$, método recomendado en la literatura (Brunfelt y Steinnes, 1971; Allian y Sansoni, 1980) es inaplicable, debido a las serias interferencias de titanio, que en materiales geológicos es el elemento que más contribuye a la actividad de ^{47}Sc (y no el calcio, como hasta allí se creía).

Al momento de concluir la presente publicación se encuentra muy avanzado el desarrollo de un trabajo destinado a la determinación de manganeso en hierro y sus concentrados, donde la interferencia de la reacción $^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$ sobre $^{55}\text{Mn}(n,\gamma)^{56}\text{Mn}$ se evalúa a partir de las constantes nucleares de otra reacción umbral inducida en hierro, $^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$ (Cohen y colaboradores, 2014)

Los datos de literatura para las secciones eficaces de reacciones umbral, su disponibilidad y su validez

Lo discutido en las secciones anteriores brinda elementos suficientes como para considerar demostrado que toda aplicación del análisis por activación en reactores nucleares debe incluir una adecuada evaluación de la influencia de las reacciones umbral involucradas. Si, adicionalmente, se trata de análisis multielementales con métodos paramétricos, es necesario contar con valores confiables de las secciones eficaces para las reacciones umbral, de forma tal que puedan ser contempladas en los correspondientes cálculos. A ese respecto, se combinan dos aspectos que deben ser revisados: la disponibilidad de datos, en primera instancia, y su validez, en segundo término.

Las secciones eficaces integradas para reacciones umbral se expresan promediadas con respecto a un espectro de fisión, que sirve de referencia para uniformar los distintos valores experimentales. La presencia del moderador en los reactores es siempre un factor de distorsión del espectro neutrónico, que en ocasiones presenta diferencias con el de fisión, sobre todo en la zona de energías más bajas de la componente rápida. Por tal razón, es tarea de los experimentadores que generan los datos verificar, si emplean la componente rápida de un reactor nuclear, que su distribución en energías es análoga a la de la referencia, el espectro de fisión. La práctica usual para este fin es la determinación del flujo rápido con monitores de diferentes umbrales. En el caso de encontrar razonable acuerdo entre los valores para los distintos monitores, puede considerarse que existe similitud entre el espectro rápido del reactor y uno de fisión. El analista, que actúa como usuario de los datos, tampoco puede emplear directamente los valores de literatura para las secciones eficaces de reacciones umbral, pues debe previamente hacer sus propias verificaciones con respecto a las características del espectro de neutrones rápidos de su reactor.

Planteadas las consideraciones sobre la validez de los valores de las secciones eficaces, surge el problema de la disponibilidad. Para algunas reacciones de interés analítico, los valores de secciones eficaces de reacciones umbral están razonablemente bien determinados; no obstante, para la mayor parte de las reacciones se

registran situaciones de desconocimiento de los valores, o determinación pobre. Los datos se encuentran en buena parte diseminados en sus fuentes originales, pues no existen tablas de valores actualizados. Calamand (1974) efectuó la última recopilación de valores publicados para las secciones eficaces de reacciones umbral promediadas sobre un espectro de fisión. También llevó a cabo la renormalización de esos datos, sobre la base de valores más recientes para un conjunto de secciones eficaces que adoptó como reacciones estándar. Es discutible la decisión de renormalizar los valores de secciones eficaces solamente en función de una única variable de ajuste, los valores equivalentes para las reacciones estándar, como lo son también algunos criterios para la resolución de situaciones conflictivas (Cohen y Furnari, 1999). A pesar de esas falencias, el valor de la compilación radica en que todos los datos para reacciones umbral publicados hasta ese momento se encuentran citados. Desde entonces, ninguna obra integral equivalente fue realizada.

Trazabilidad y consistencia de los datos de secciones eficaces para las reacciones umbral

El concepto de trazabilidad de los datos nucleares fue introducido por Furnari y Cohen (1998). Sobre la base de las analogías existentes entre los datos nucleares y los sistemas de estándares metrológicos, los autores proponen una clasificación basada en la asignación de órdenes jerárquicos para los primeros. De esta forma, son datos de primer orden las constantes fundamentales; de segundo orden, los datos determinados mediante métodos absolutos o que emplean datos de primer orden; finalmente, los datos de tercer orden son aquellos en cuya determinación se emplean datos de primero o segundo orden, u otros datos de tercer orden.

Dos implicaciones fundamentales surgen de

este sistema: a) el concepto de trazabilidad puede ser aplicado al tratamiento de los datos nucleares; b) los datos de tercer orden son susceptibles de renormalización, pues su determinación depende de un conjunto de datos aceptados como referencia. Si algunos de los valores del conjunto de referencia cambia, el dato original debe ser renormalizado (es decir, recalculado según el nuevo valor de referencia). Se restaura así la consistencia global: un dato trazable es un dato renormalizable.

En un trabajo reciente (Cohen y colaboradores, 2013) se plantean las constantes que se utilizan en el cálculo del valor de una sección eficaz bajo estudio: Ellas son la sección eficaz de la reacción utilizada como estándar, las abundancias isotópicas de los precursores (de la reacción investigada y del monitor) y las probabilidades de emisión de las especies radiactivas (del producto de la reacción en estudio y del producto de la reacción estándar). En total son cinco constantes. Sobre cada una de ellas puede aplicarse el criterio de renormalización; su ausencia en la publicación original representa una pérdida de la trazabilidad del valor publicado.

Los criterios enunciados en el trabajo de Cohen y colaboradores (2013) fueron aplicados a la evaluación de los valores de secciones eficaces, promediadas sobre un espectro de fisión, para las reacciones $^{46}\text{Ti}(n,p)^{46}\text{Sc}$; $^{47}\text{Ti}(n,p)^{47}\text{Sc}$; $^{48}\text{Ti}(n,p)^{48}\text{Sc}$ y $^{64}\text{Zn}(n,p)^{64}\text{Cu}$, contenidos en la base de datos EXFOR, del Organismo Internacional de Energía Atómica (International Atomic Energy Agency, 2012). Los resultados del proceso de renormalización se resumen en la Tabla 4.

Es posible formular varias observaciones de interés a partir de los resultados indicados en la Tabla 4:

Reacción	No. de valores originales	No. de valores aceptados	No. de valores no renormalizables	No. de valores parcialmente renormalizados	No. de valores totalmente renormalizados
$^{46}\text{Ti}(n,p)^{46}\text{Sc}$	18	15	3	11	1
$^{47}\text{Ti}(n,p)^{47}\text{Sc}$	15	14	3	10	1
$^{48}\text{Ti}(n,p)^{48}\text{Sc}$	13	13	2	10	1
$^{48}\text{Ti}(n,p)^{48}\text{Sc}$	18	16	3	12	1

Tabla 4. Resumen de los resultados del proceso de renormalización

a) En primer lugar, el número de valores aceptados para la renormalización es menor que el número total de valores revisados. Esto se debe al hecho de que algunos valores estaban indicados sin incertidumbre. Por tal razón, se decidió que valores que se supone serán empleados en cálculos o evaluaciones no pueden ser siquiera considerados.

b) Los valores no renormalizables corresponden a datos obtenidos por métodos diferentes a la comparación con una reacción estándar.

c) El número de valores que pueden ser totalmente renormalizados (a partir de nuevos valores de todas las constantes vinculadas al cálculo de las secciones eficaces) es extremadamente bajo. Este hecho implica que los autores no incluyeron en los trabajos todos los datos de entrada involucrados.

d) La pérdida de trazabilidad que implica la situación comentada en c) conduce también a la realización de un procedimiento necesariamente incompleto, puesto que todo el proceso se sostiene en datos donde la renormalización es necesariamente parcial.

La consistencia de los conjuntos de datos se resiente cuando se analiza el estado de las reacciones de referencia, pues no hay consenso acerca de una reacción que con carácter preferencial pueda ser considerada estándar para la determinación de secciones eficaces promediadas sobre un espectro de fisión. Frecuentemente tales mediciones se refieren a una o varias reacciones cuya sección eficaz se consi-

dera bien conocida. En la literatura se encuentran abundantes ejemplos de utilización de algunas de estas reacciones como estándar para la determinación de la sección eficaz de otra reacción también usada como estándar. Estas determinaciones cruzadas hacen difícil la elección de un conjunto de valores consistente y mutuamente independiente.

Conclusiones

La realización de análisis a partir de métodos de activación en reactores nucleares debe incluir la consideración de la influencia de las reacciones inducidas por la componente rápida del espectro neutrónico. Tal requerimiento implica la necesidad de verificaciones adicionales, entre las que se encuentra la determinación de la forma del espectro de neutrones rápidos y su comparación con un espectro de fisión, para luego efectuarse las estimaciones sobre el grado en que los resultados se afectan a partir de las reacciones umbral que pueden producirse. Cuando se aplican métodos paramétricos, es preciso, además, contar con los datos pertinentes para la evaluación. El estado actual de los valores de literatura sobre secciones eficaces muestra información faltante con referencia a los datos de entrada, necesidad de actualización de valores históricos y de nuevas determinaciones. Por último, la necesidad de elaborar tablas de datos para su utilización con fines analíticos resulta perentoria. El trabajo a desarrollar es muy complejo, pues son muchos los aspectos que deben estudiarse para obtener conjuntos consistentes.

Referencias

- AISENBERG, E. Y.; COHEN, I. M.; KOROB, R. O.; RUDELLI, M. D. (1971) II Congreso Argentino de Biología y Medicina Nuclear. San Martín de los Andes, 5 al 9 de octubre.
- ALLIAN, A.; Sansoni, B. (1980) J. Radioanal. Chem. 59, 511.
- BRUNFELT, A. O.; Steinnes, E. (1971) Talanta 18, 1197.
- CALAMAND, A. (1974). En Handbook on Nuclear Activation Cross-Sections, p. 273. IAEA Technical Report Series No. 156.
- COHEN, I. M.; RESNIZKY, S. M.; BARÓ, G. B. (1982). J. Radioanal. Chem. 72, 451.
- COHEN, I. M. (1991) J. Radioanal. Chem. 148, 155.
- COHEN, I. M.; ARRIBÉRE, M. A.; KESTELMAN, A. J.; FURNARI, J. C. (1993) Vigésimoprimera Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear. Mar del Plata, 9 al 12 de noviembre.
- COHEN, I. M.; FURNARI, J. C. (1999) Appl. Rad. Isot. 50, 743.
- COHEN, I. M.; FORNACIARI ILJADICA, M. C.; FURNARI, J. C.; ALÍ SANTORO, M. C. (2013) Applied Rad. Isot. 77, 115.
- COHEN, I. M.; SIRI, S.; SEGOVIA, M. S. (2014) Trabajo a ser publicado.
- DE CORTE, F.; SIMONITS, A.; DE WISPELAERE, A.; HOSTE, J. (1987). J. Radioanal. Nucl. Chem. 113, 145.
- ESPINOSA GARCÍA, R.; COHEN, I. M. (1984). J. Radioanal. Chem. 82, 353.
- FURNARI, J. C.; COHEN, I. M. (1994). Biol. Trace Elem. Res. 43, 503.
- FURNARI, J. C.; COHEN, I. M. (1998). Appl. Radiat. Isot. 49, 1523.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2012). Experimental Nuclear Reaction Data (EXFOR). Disponible en el sitio www-nds.iaea.org/exfor/exfor.htm. La última versión corresponde a julio de 2014.

Pedagogía móvil y entorno colaborativo: una alternativa a los procesos de enseñanza y aprendizaje¹

Oscar R. Bruno

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

oscarrbruno@yahoo.com

Recibido el 3 de mayo de 2014, aprobado 6 de junio de 2014

Resumen

La presente investigación permite conocer una forma posible de incorporación inteligente de dispositivos móviles en educación. Indaga sobre el aporte de herramientas valoradas especialmente por los estudiantes. Plantea una pedagogía en movimiento mediante construcciones cooperativas. Busca transformarse en una guía profesional para todos los interesados en el uso y aprovechamiento de tecnología móvil en el diseño de nuevas experiencias educativas orientadas hacia cambios en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Las reflexiones llevadas a cabo en la investigación revalorizan la importancia de dichos procesos en la asignatura en estudio y en la enseñanza de la ingeniería en general.

PALABRAS CLAVE: MOBILE LEARNING - PEDAGOGÍA MÓVIL - CONSTRUCCIONES COOPERATIVAS

Abstract

This research provides a possible way to meet intelligent incorporation of mobile devices in education. Inquires about the contribution of particular tools valued specially by students. Poses a moving pedagogy through cooperative constructions. Seeks to become a professional guide for all those interested in the use and exploitation of mobile technology in the design of new educational experiences oriented to changes in processes of teaching and learning. Reflections carried out in this research revalue the importance of these processes in the subject under study and teaching of engineering in general.

KEYWORDS: MOBILE LEARNING - MOVIL PEDAGOGY - COOPERATIVE CONSTRUCTIONS

¹ Trabajo de investigación para la residencia posdoctoral breve en Universidad Nacional de Tres de febrero. Abril 2014.

Introducción

Los jóvenes nacidos a mediados de los 90 no conocen como es la vida sin computadoras, teléfonos móviles o internet. Su contexto social está muy vinculado a *facebok*, *twitter* y las redes sociales. Exploran caminos nuevos. Internet para ellos no es solo un contenedor de información, es algo dinámico y participativo. Los teléfonos inteligentes y las PDA (Personal Digital Assistant)² permiten organizar los contenidos en unidades pequeñas y disponer de información de manera completa y personalizada.

Todos estos dispositivos, utilizados adecuadamente, pueden potenciar y revitalizar el sistema educativo. Si bien algunos de ellos no disponen de toda la gama de potentes funciones que puede ofrecer el software disponible en una computadora de escritorio, no se trata aquí de reemplazar el uso de una tecnología por otra, ni de ponerlas a competir, sino de establecer una relación de complementariedad.

Lejos se está de aquel modelo que sólo requería memorización para aprender, hoy, las necesidades llevan a reemplazarlo con habilidades concretas que permitan “navegar por la nube de información”, trabajar colaborativamente con el objetivo de desarrollar una fuerte alfabetización multimedia dentro de un entorno no cercado por los límites estructurales del aula. Aceptar que el aprendizaje no tiene principio ni fin, y que el mismo debe darse a lo largo de toda la vida.

Ahora bien, los estudiantes no tienen siempre la posibilidad de estar frente a una computadora de escritorio, están mucho tiempo en movimiento, se pueden entonces plantear mecanismos para que alcancen sus principales objetivos de aprendizaje también en ese tiempo.

En síntesis, la tecnología ha ejercido un fuerte impacto en muchos aspectos de la vida: el trabajo, el hogar, el entretenimiento y el ocio. Los estudiantes han llegado a incorporarla en muchas esferas por fuera de la universidad. La propuesta es aquí brindar una oportunidad de incorporación inteligente de los dispositivos móviles en el ámbito educativo y de formación profesional.

Planteamiento del problema de investigación

Entre las mayores dificultades que presentan los estudiantes de Algoritmia (materia particularmente “expulsiva” del primer año de la carrera de Ingeniería en Sistemas) se encuentra la de llevar a la práctica los conceptos teóricos. Ha quedado demostrado lo valioso del aporte de las tutorías académicas permanentes (Bruno, 2005) y las mismas pueden implementarse mediadas por tecnologías (Cataldi 2012a, 2012b; Bruno, 2008). En este trabajo se propone el uso de los dispositivos móviles que promueven un modo de abordar el objeto de conocimiento dinámico, que se retroalimenta a partir de interacciones alumno-profesor y entre pares. Se estimula así una actitud crítica y activa por parte del alumno, un profesor orientador y una tecnología en movimiento. Se intenta que el estudiante sea capaz de cuestionar lo que lo rodea interactuando directamente con ese objeto de conocimiento (Bruno, 2013).

Durante la realización de este estudio acompañamos a jóvenes de primer año de la carrera en Ingeniería en Sistemas, escuchamos sus intercambios, observamos cómo se vinculan, cómo construyen sus conocimientos, cómo los comparten, cómo nos enseñan. La presente investigación tuvo como propósito desarrollar un modelo de “aprendizaje móvil”, uniando todo aquello que es familiar y de uso habitual para los jóvenes.

Los ejes centrales de investigación fueron: a) apoyar la enseñanza y la formación; b) determinar los fundamentos del aprendizaje en red con tecnologías móviles, desarrollando destrezas que permitan una mayor flexibilidad instruccional; c) buscar alternativas para afrontar el desafío que representa la pedagogía móvil en tanto componente importante y sostenible en los ámbitos educativos; y d) promover la accesibilidad universal, en situaciones alternativas de aprendizaje donde los agentes se encuentran nivelados por la novedad del contexto en el que la igualdad y la posibilidad de un vínculo más estrecho es posible y se hace necesario.

² Teléfono móvil construido sobre una plataforma informática, con gran capacidad de almacenar datos, realizar actividades semejantes a una minicomputadora y conectividad similar a un teléfono móvil.

Objetivos

A partir de la problemática planteada se buscó conocer, desde una aproximación teórica y práctica, las consecuencias de la incorporación de un modelo de aprendizaje basado en *mobile learning*. El objetivo principal de la investigación consistió en:

Indagar los aportes y limitaciones de un entorno de aprendizaje basado en *mobile learning* para potenciar el aprendizaje de los contenidos de las asignaturas de los primeros años de Ingeniería.

De este objetivo principal se derivan los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar las tecnologías móviles disponibles (celulares y *tablets*) y sus usos en educación.
2. Indagar qué uso dan los estudiantes a los celulares y tablets que disponen y determinar sus características.
3. Determinar cuáles son las aplicaciones disponibles para uso en asignaturas tomando como base los contenidos de programación.
4. Diseñar entornos de aprendizaje personales para las asignaturas en estudio para gestionar las actividades a realizar.
5. Definir motivaciones que encuentran los aprendientes para ser activos en el proceso de aprendizaje.
6. Delinear cuáles son los aportes de los participantes del proceso educativo cuando pueden actuar en forma directa en la construcción del objeto de conocimiento.

Para alcanzarlos se concibieron dos formas complementarias de abordaje, una exploratoria buscando caracterizar los aspectos teóricos de la pedagogía en movimiento y otra descriptiva para analizar y comprender los vínculos, relaciones y producción de conocimiento con un modelo siempre en línea.

La hipótesis de trabajo fue explicitada del siguiente modo: "las funcionalidades de *m-learning* pueden considerarse como una oferta adicional para los estudiantes de Ingeniería en Sistemas, usuarios de los dispositivos móviles, quienes pueden acceder con ellos a una pedagogía en movimiento".

Marco conceptual

¿Por qué mobile-learning? Dentro del ámbito universitario, el acceso a telefonía móvil es masivo, sobretodo en carreras tecnológicas. Esta tecnología se encuentra disponible y es utilizada por la totalidad de los estudiantes: ellos conocen y aprovechan las posibilidades que la misma les brinda. Su uso en educación posibilita la incorporación de herramientas que tienen una característica excepcional respecto del resto y es que las mismas son valoradas por los estudiantes (Bruno, 2013), ya sea por la accesibilidad, la familiarización con su uso como así también, por otras ventajas que se hallan en continuo crecimiento.

El desarrollo de tecnologías 3G y 4G³ proporciona la posibilidad de transferir voz como así también otro tipo de datos no-voz con acceso desde cualquier lugar en el que el usuario se encuentre. En definitiva, los estudiantes, pueden, gracias a sus teléfonos, interactuar con la comunidad de aprendizaje desde cualquier lugar ampliando las posibilidades y los modelos de comunicación.

¿Qué es el aprendizaje móvil?

Se considera aquí "aprendizaje móvil" a toda capacitación y mediación educativa respecto a teléfonos inteligentes, teléfonos móviles y PDAs, aprovechando la funcionalidad que acerca la tecnología informática y el *e-learning*. Para muchos autores (Merril 2002, Merrill 2007, Naismith 2004, Reigeluth 2012), la definición de aprendizaje móvil supone tensiones entre funcionalidad y movilidad. *Mobil-e-learning* se fundamenta en combinar lo virtual con la movilidad geográfica. Surge de la intersección entre el aprendizaje electrónico y los dispositivos móviles. La interacción con pares y profesores y el acceso a material variado en cualquier momento y lugar favorece el aprendizaje. El sujeto tiene la posibilidad -si lo quiere y está motivado- de aprender cuando lo necesita y de forma continuada, fomentando así el aprendizaje por descubrimiento y la investigación, pilares fundamentales de la formación universitaria.

Se está frente a un cambio de paradigma en el aprendizaje. La adquisición y construcción

³ De tercera (3G) y cuarta (4G) generación de transmisión de voz y datos mediante telefonía móvil

del conocimiento se encuentra en constante movimiento; no sólo el estudiante re-analiza y recopila información sino que con regularidad, genera nueva información. Por ello, ya no se requiere de un maestro que solo sea instructor o un facilitador; el modelo permite (y propone) incorporar orientación y tutoría permanente a la instrucción y facilitación.

Los métodos de enseñanza, según Davini (2011) pueden agruparse en: a) métodos para la asimilación de conocimientos y el desarrollo cognitivo; b) métodos para la acción práctica en distintos contextos; c) métodos para el entrenamiento y desarrollo de habilidades operativas; d) métodos para el desarrollo personal. Un modelo de *mobil-e-learning* se nutre de todos ellos, pero la educación a partir del uso de tecnología móvil requiere además, la incorporación de teorías específicas. Entre las que se puede citar la Teoría de Presentación de Componentes (Component Display Theory, CDT), propuesta por Merrill (2002, 2007), la Teoría COLL (Contextual Long-Live Learning) de Sharples(S/F), la Teoría del Uso, que se resume como las 3Cs de Naismith(2004).

La Teoría CDT fue ampliamente aplicada a la enseñanza basada en medios electrónicos. Se sustenta en dos conceptos básicos: el contenido y el desempeño. A partir de ellos se desarrollan los siguientes principios: **problema, activación, demostración e integración**. La CDT considera que el planteo de un problema es la situación más efectiva de instrucción; requiere de la activación de los conocimientos previos para fundamentar los nuevos aprendizajes; puede haber una demostración de lo que se aprende y propone la aplicación de los nuevos conocimientos a situaciones diferentes, diseñadas para la instrucción; llegando finalmente, a una integración de todo lo aprendido.

Esta teoría busca separar la estrategia de aprendizaje del contenido. De este modo un estudiante puede desarrollar su propia construcción del conocimiento a partir de la aplicación de reglas básicas, para ello, la instrucción debe utilizar una estrategia de enseñanza centrada en la tarea y debe proveer entrenamiento.

La Teoría COLL Sharples(SF) entiende, como también señala Wenger (2001), que el aprendizaje no está sujeto a un lugar determinado dentro del desarrollo profesional o académico,

sino que se trata de un proceso dinámico, individual e interactivo de cada estudiante y se da a lo largo de toda la vida.

La Teoría del Uso, parte de un punto de vista pedagógico, cognitivo y social, y sus principios básicos pueden resumirse como las 3 C de: **construcción** (desarrollar soluciones a problemas relacionados con nuevas experiencias del conocimiento), **conversación**(centrado en el hecho de que el aprendizaje es producto de la interacción entre estudiantes con profesores o pares) y **control** (a partir del cual se realiza un ciclo de experimentación y reflexión activa respecto de los procesos de aprendizaje).

La Universidad Tecnológica y los dispositivos móviles

En el caso particular de la institución en estudio los alumnos tienen acceso al material de lectura en el campus virtual donde disponen de material en soporte papel y en soporte digital (sonido y video). En general, estudian de manera individual o grupal, con material impreso o en PC de escritorio o laptops; sin embargo utilizan las posibilidades que brinda el teléfono móvil cuando están en movimiento. A la ventaja de que el grupo de estudio pertenece a estudiantes universitarios de Ingeniería en Sistemas, se agrega el hecho de que el campus virtual es utilizado por los estudiantes en muchas de las asignaturas incluso desde el primer año. Esto sugiere que tienen experiencia y están familiarizados con varias de las características del aprendizaje electrónico; conocen las particulares que esta pedagogía ofrece, con sus problemas y desafíos pero, fundamentalmente, con sus ventajas.

Los dispositivos móviles y la didáctica

Movilidad, interactividad y ubicuidad se conjugan para ofrecer un aprendizaje continuo en el espacio y en el tiempo. Esa flexibilidad permite integrar nuevas teorías instruccionales con las clásicas, en beneficio de todos los participantes de la comunidad educativa.

Los jóvenes adquieren "una gran cantidad de conocimientos a través de la exploración regular y activa del mundo", (Gardner, 2008, p. 95.). Es necesario guiarlos más allá de los hechos; convertirlos en personas capaces de resolver problemas a partir de un pensamiento creativo que les permita aprender a actuar a partir de

sus conocimientos (Stone Wiske, 1999). Aprender puede otorgar destrezas para ser prácticos, pero también, como señala Longworth (2005), otorga destrezas de flexibilidad, adaptabilidad, razonamiento crítico, reflexión, sentido del humor, comunicación, destrezas para la toma de decisiones, y guía para "aprender a aprender". Bateson (1998) sostiene que los procesos comunicacionales poseen un carácter circular y evolutivo, el cambio adaptativo depende de circuitos de retroalimentación. Señala que es la intervención humana la que le otorga existencia a la realidad. "En la educación de los niños tenemos que tratar de inculcarles una especie de hábito muy diferente del que hemos adquirido y que diariamente reforzamos en nosotros, en nuestros contactos con la ciencia (...) este nuevo giro en el acento o la configuración gústaltica de nuestro pensamiento significa zarpar hacia un mar no explorado". (Bateson, G. 1998; 192).

Parte Experimental

Estudios previos⁴ permitieron observar que la mayoría posee teléfono celular y, al mismo tiempo, se halla en continuo movimiento. Por otro lado, aquellos alumnos que no poseen este tipo de dispositivo, manifiestan su preferencia por estudiar en grupo, y explican que a pesar de su carencia no son ajenos al uso de estas tecnologías.

La conexión telefónica inalámbrica se presenta, como un vehículo adecuado para el desarrollo de aprendizaje móvil por su conectividad, el uso de *bluetooth*, la lectura de documentos, los escaneos e impresiones, la sincronización y la revisión del correo electrónico. Además de contar con una pantalla que habilita la posibilidad de leer material en línea con o sin conexión y la de comunicarse con otros estudiantes o con los tutores permitiendo así a los alumnos a estudiar por su cuenta, cuándo y dónde lo necesiten.

Diseño de la investigación

Para el diseño de la investigación, que se apoya epistemológicamente en el paradigma interpretativo de investigación, se buscó describir e interpretar la realidad por medio de un análisis

profundo de los datos en una situación educativa determinada a partir de una perspectiva contextualizada. La finalidad del trabajo radicó en el mayor acercamiento posible a la comprensión del fenómeno y la problemática objeto. En este sentido, la propuesta se asentó en la implementación de métodos de análisis que posibilitan la reflexión sobre dichos fenómenos, en los que se ven involucrados determinados sujetos, en este caso, miembros de una misma comunidad educativa. La interpretación tiene en consideración un tiempo y un contexto determinado, y se sistematiza el estudio por medio de descripciones y registros rigurosos - mediante la observación participante - que, posteriormente y en virtud de los antecedentes y el contexto conceptual de la investigación, permitieron el establecimiento de resultados y conclusiones parciales. Las mismas se orientaron a posibilitar una posterior toma de decisiones, con vistas a la innovación y mejora educativa en los contextos virtuales móviles de enseñanza y aprendizaje.

La intención de la investigación, por lo tanto, no consistió únicamente en valorar los resultados que del análisis de una secuencia educativa particular se extrajeron, sino, más bien, en reflexionar en torno a la utilización de contextos móviles de enseñanza y aprendizaje. A partir de ello, se pudo reflexionar respecto a sus alcances y sus limitaciones y, fundamentalmente, respecto al desarrollo de prácticas educativas que potencien el desarrollo de experiencias de aprendizaje más fructíferas, productivas y valiosas tanto para los docentes como para los alumnos.

Caracterización de los grupos de estudio

El grupo de estudio estaba formado por estudiantes de un curso intensivo de programación, de un mes de duración (febrero 2014) y estudiantes asistentes a clases de consultas, (previo a evaluaciones finales). Estos estudiantes conocen la materia. Algunos asistentes a clases de consulta y apoyo en vista de encarar evaluaciones parciales o finales pendientes, otros, los de la escuela de verano eran recurrentes. Es decir que en el periodo académico inmediato anterior (ciclo 2013) cursaron la materia y no alcanzaron los objetivos de la misma por lo que no pudieron regularizarla.

⁴ Estudios realizados por la Secretaría de Asuntos Estudiantiles (SAE) UTN.BA (2013), y a los estudiantes de Algoritmos y Estructura de datos (Sznajdleder 2013).

La normativa de la universidad requiere que para estar en condiciones de inscribirse a dicho curso deben haber cumplido con el régimen de asistencia en la cursada anterior y haber asistido a las evaluaciones parciales. Esto indica que tienen conocimientos previos, seguramente incompletos, pero el contenido de las clases no es nuevo. Otra particularidad, aunque no relevante, es que provienen de cursos dictados por diferentes profesores, cada uno con su propio estilo. El curso de verano lo dicta el director de la cátedra que, de algún modo, garantiza absolutamente homogeneidad en la formación. La materia en estudio pertenece al área de programación, cuyo objetivo es estudiar estrategias de resolución de problemas, representación de datos y dominar terminología propia de la disciplina informática. Esto hace que adquiera una importancia destacada en la formación profesional ya que, sin ser el eje troncal de la carrera, es transversal a la totalidad de los contenidos curriculares de la misma. Aprender programación surge de la intersección de la creatividad, habilidades y esfuerzo de los estudiantes.

El estudio se realizó sobre la totalidad de estudiantes inscriptos en la materia "Algoritmos y Estructura de datos" del curso de verano 2014 y asistentes a clases de consulta, constituyendo el grupo experimental ya caracterizado.

La obtención de datos se realizó mediante herramientas validadas y aplicadas en la muestra seleccionada. Las percepciones de los estudiantes y las experiencias del grupo fueron registradas (mediante encuestas, entrevistas, observación y grabado de clases, registros de las comunicaciones sincrónicas, asincrónicas y mediante redes sociales) y contrastadas con resultados de estudios anteriores (Sznajdler, 2013), para poder arribar a conclusiones sobre las ventajas, riesgos y limitaciones del modelo propuesto.

La primera parte del estudio se centró en la revisión de fuentes documentales y análisis de bibliografía específica vinculada a teorías del aprendizaje, en particular en modelos de enseñanza electrónica y en movimiento. Se destacan los métodos descriptos por Davini y las teorías específicas con perspectiva constructivista y aprendizaje situado que ya han sido descriptas.

La observación participante buscó analizar la

secuencia educativa completa con registros tipo nota de campo determinando si se cumplían los objetivos parciales establecidos para cada semana: a) adaptar el uso del celular al ámbito educativo, b) consolidar el uso, c) utilización plena para resolver problemas d) trabajos colaborativos mediante la utilización de telefonía móvil. El investigador es el docente responsable de la implementación y puesta en marcha del modelo propuesto, es el desarrollador del material didáctico y generador de las comunicaciones a los estudiantes, posee además la responsabilidad de la dirección de la cátedra en estudio.

El análisis se centró en el estudio de la factibilidad y los parámetros de diseño del modelo de aprendizaje móvil y de las características del modelo efectivamente implementado. El primero de ellos estaba relacionado con el proceso de construcción de un modelo de aprendizaje en un contexto educativo particular, colaborativo, didáctico y viable desde el punto de vista técnico y pedagógico, que desde lo operacional requirió analizar aspectos vinculados con cuestiones técnicas, de utilización así como de estrategias de aprendizaje siempre en línea. Los indicadores se centraron en la valoración que hacen los estudiantes del modelo implementado, el valor que le dan a dispositivos móviles para la formación académica, la independencia que alcanzan en la búsqueda de soluciones, la importancia que le otorgan a la tutoría permanente y, fundamentalmente a las relaciones interpersonales. El segundo estaba vinculado con el diseño del modelo con definición precisa de componentes, estructuración, flujo de actividades y eficiencia académica que permita eficacia didáctica del dispositivo móvil en un ambiente siempre en línea.

Modelo implementado

El diseño pedagógico propuesto permite la determinación de diversas maneras de organizar la actividad conjunta entre el docente y los alumnos. En este modelo, y a efectos de alcanzar los objetivos, se optó por el siguiente flujo de trabajo: a) envío de información a estudiantes, entre estudiantes y al docente, b) comunicación permanente (entre todos los participantes del modelo), c) envío, recepción, evaluación, reenvío (de consignas, información complementaria, soluciones a problemas, evaluaciones) d) propuesta de intercambio

continuo (entre todos los participantes), e) herramientas de comunicación (incorporación gradual de formas alternativas de comunicación), f) generación de soluciones con documentos compartidos, g) utilización de redes sociales (incorporación gradual de las mismas limitando las participaciones a contenidos académicos y de formación específica). Se buscó promover los aprendizajes utilizando *Twitter* y la gestión de información con el concepto de "nube" mediante *DIIGO* (*Digest of Internet Information, Groups and Other stuff*). También se recurrió a *Facebook*, *Youtube*, *Google+*. Se hicieron lecturas en el celular, con *Kindle*, *Nook* y *Kobo*. Por otro lado, se buscó crear books, animaciones, screencasts, podcasting y conversaciones multimedia con *Voice Thread*. Se implementó el uso de la cámara de fotos, la grabación de sonidos y videos y el uso de *blue-tooth*, mensajería. *WhatsApp*, *SMS* y *MMS*.

Propuesta pedagógica y didáctica

Los contenidos de la asignatura se organizaron para adaptarse a la incorporación y uso de telefonía móvil. Fue llevada a cabo una reestructuración metodológica con el objetivo de que el modelo propuesto alcanzara la mayor eficiencia posible. La asistencia y tutoría a los estudiantes por parte de los profesores fue constante. Se integraron diferentes técnicas y ambientes de aprendizaje. Los dispositivos móviles colaboraron con ese propósito gracias a su accesibilidad y la posibilidad de uso de los mismos en tiempos de espera o traslados.

Desde el principio de la aplicación del modelo se buscó alcanzar los siguientes objetivos: a) motivar a los estudiantes mediante la comprensión respecto a la importancia de la asignatura, a través de redes sociales, *Twitter* y todos los mecanismos accesibles desde los celulares; b) intercambiar material de estudio y comunicaciones usando la tecnología celular; c) capacitar a profesores y estudiantes sobre el buen uso de la tecnología móvil; d) desarrollar campañas de socialización sobre la educación a través de mensajes, videos, charlas u otras expresiones de comunicación; e) concebir espacios virtuales de comunicación para orientar a la comunidad educativa a realizar un buen uso de las tecnologías informáticas y de comunicación; f) enviar a los estudiantes materiales en formato digital sobre la asignatura, que los ayude a entender los conceptos y a de-

sarrollar formas de aprender a solucionar ejercicios, orientados, en todo momento, por el profesor; g) proponer desarrollos de modelos de situaciones problemáticas por parte de los estudiantes y seleccionar un grupo diferente para que los resuelva; h) buscar una retención y aprobación de evaluaciones finales plena y tasa de recursantes nula.

Plan de acción

Durante la primera semana se buscó sensibilizar a los estudiantes acerca del uso de los móviles como herramienta de estudio. En ese mismo periodo todos los alumnos recibieron las orientaciones detalladas del modelo. Para la segunda semana, el modelo ya estaba funcionando en su totalidad. Se encontró, así, consolidado el uso del celular en educación. En la tercera semana se pidió a los estudiantes que utilicen el modelo para la resolución de ejercicios de mediana y alta complejidad. Las dificultades en los intercambios y los problemas detectados en lo que respecta a las comunicaciones con el profesor o el resto de los estudiantes del curso se ajustan en la instancia de encuentros presenciales que, por las características administrativas del grupo de estudio seleccionado, son diarios. Aunque los ajustes se realizaron en encuentros presenciales, las soluciones se buscaron mediante la utilización de los dispositivos móviles. La cuarta semana muestra una participación mayoritaria por parte de los alumnos y un incremento importante en el uso de los dispositivos lo que posibilitó que muchos, no solo pudieron resolver problemas de algoritmia, sino que además se transformaron en colaboradores plenos de los estudiantes que requerían una ayuda extra. Al final del proceso se realizó un encuentro con todos los estudiantes, donde pudieron exponer sus experiencias individuales. Los estudiantes con mayor participación fueron convocados como auxiliares para el año siguiente. El proceso de control, chequeo, verificación y evaluación fue permanente y los resultados personalizados.

Los indicadores evaluados fueron: a) valoración del modelo de capacitación por parte de los estudiantes pertenecientes al grupo experimental; b) uso del celular para comunicación académica entre los estudiantes o con los profesores; c) intercambio adecuado de documentación, en lo referido a la descarga de material teórico y/o práctico o a la entrega de

trabajos terminados por parte de los estudiantes; d) comprensión de textos y claridad en la lectura en la pantalla de los celulares; e) control y verificación de la comprensión por parte de los docentes mediante tutorías constantes y verificados mediante la observación participante; f) transferencia de lo aprendido a diversas situaciones, mediante la observación y guía en la resolución de situaciones problemáticas planteadas por los docentes o los propios estudiantes; g) destrezas y habilidades teóricas obtenidas por los estudiantes mediante la incorporación de una aplicación para celular desarrollada específicamente; h) destrezas y habilidades prácticas adquiridas, evaluadas en las presentaciones de los trabajos prácticos por parte de los estudiantes y la utilización de aplicaciones particulares desarrolladas para ese fin por el investigador; i) tutoría académica, que además de analizar y verificar aspectos disciplinares, buscó observar si se logró en los estudiantes que alcanzaran independencia en la búsqueda de soluciones mediante un trabajo colaborativo con diversas formas, vías y métodos de evaluación en línea.

Resultados y Discusión

Análisis descriptivo de la observación participante

Desarrollar un modelo de estudio a través de la tecnología celular posibilita un caudal de oportunidades alternativas para los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Presentar este tipo de modalidad requiere: analizar los procesos de implementación de proyectos virtuales; definir aspectos a considerar en la elaboración de contenidos; establecer criterios de evaluación; definir y describir las particularidades de la tecnología y aplicaciones específicas. Los objetivos fueron debatidos y reflexionados por los participantes. Los mismos se encuentran intrínsecamente relacionados con tres ejes: el funcionamiento del grupo, la relación entre tutores y estudiantes y, en última instancia, las relaciones establecidas con la construcción del conocimiento.

A partir del análisis de la consulta realizada se pudo observar que respecto a las herramientas propuestas, aquellas que son de uso habitual como *Twitter* o *YouTube* son altamente valoradas. La utilización de archivos compartidos o

cámara de fotos mostró valores altos aunque la aceptación no fue total. La utilización de *drop-box* para trabajos colaborativos fue aumentando el grado de satisfacción según el tiempo transcurría. Algo similar ocurrió con la utilización de la cámara fotográfica cuando los estudiantes podían fotografiar soluciones parciales y enviárselas a los profesores para que ellos los orienten y evalúen. Quizá pueda sorprender un poco la aceptación absoluta de *screencasts*; se observó que los estudiantes valoran la posibilidad de poder recrear las clases que presenciaron y que son dictadas por sus propios profesores y, en general, de las jornadas en las que ellos participaron personalmente. Seguramente la diversidad podrá tener efecto sinérgico.

Por último, los estudiantes mostraron satisfacción y una valoración positiva respecto del trabajo colaborativo y la tutoría permanente.

En cuanto a la valoración de aquellos aspectos relacionados con la comprensión, transferencia y destrezas obtenidas no se pudo determinar con exactitud cuánto de la misma obedeció al modelo y cuánto a las características propias del grupo estudiado (con conocimientos previos de programación).

El grupo y su funcionamiento

Además de los objetivos que fueron expuestos al momento del inicio de la secuencia que aquí se refiere, fueron explicitándose muchos otros vinculados con el funcionamiento del grupo, las relaciones dentro del mismo y las relaciones con la construcción del conocimiento.

Hubo comunicación constante y solidaridad entre los miembros, claridad en las exposiciones de los propios pensamientos y colaboración en el desarrollo de las actividades y tareas propuestas.

Se observó un vínculo basado en la cordialidad, centrado en lograr la motivación de los participantes, fomentando la participación activa y constante mediante el establecimiento de alternativas de discusión y reflexión durante el proceso. Algunas de las expresiones fueron⁵ :

22:22 5 de Feb – oscarbruno: *Escribo yo para romper el hielo. Consulten por acá. Bienvenidos*
22:23 5 de Feb - +54 9 11 6375-.....: *Gracias*

⁵ Las comunicaciones se citan textualmente, no se modifican ni se corrigen errores de escritura, lexicográficos y/o sintácticos.

profe jajaja, Bienvenido al grupo!....

9:57 6 de Feb - +54 9 11 6245-....: Buenos días! Al final como hacemos hoy? A qué hora están en la facu?

10:17 6 de Feb - +54 9 11 6535-....: Yo como acá algo rápido y voy. Podés imprimir la guía de ejercicios de arrays? Es más cómodo que verlo del celu

Aquí se pone en evidencia alguna debilidad del modelo en lo referido a la lectura, de cualquier modo, como ya se mencionó, se buscaba ver lo que el modelo podía complementar.

10:27 6 de Feb - +54 9 11 6375-...: Dale, yo la imprimo!

10:27 6 de Feb - +54 9 11 6245-....: Graciaas

Se manifestaron intentos por parte de los participantes de ser comprendidos y comprender al otro. Todos notaban al otro con quien hablaban, veían más allá del dispositivo electrónico. Es aquí donde la experiencia tomó su verdadero valor. El dispositivo electrónico tuvo el valor de una herramienta, pero no en sí mismo. Su valor está en el uso que se le da en ámbitos educativos.

23:42 6 de Feb - +54 9 11 6535-....: Una pregunta. En el ejercicio 10 de arrays. A que se refiere convertir el "Ej. MII-27"?

23:43 6 de Feb - +54 9 11 6245-....: Y en esta no existe el MII 27

23:43 6 de Feb - +54 9 11 6245-....: Modulo 2 ejercicio 27

Como se observa los horarios de comunicaciones son múltiples. Parece que en todo momento puede aparecer la duda, la comunicación, el contacto. El modelo posibilita la comunicación permanente, aun en camino hacia o desde la universidad.

La participación del profesor aparece solo después de la discusión entre los estudiantes. Esta forma de fomentar la independencia garantiza una mayor comprensión por parte del estudiante.

12:46 7 de Feb - +54 9 11 6375-.... : Jajajajaja

12:46 7 de Feb - +54 9 11 5018-.... : Jaja yo recién iba por el 2 profe, y me puse a hacer el 7 también

12:47 7 de Feb - +54 9 11 5018-.... : Ahora lle-gué y no se me ocurre nada, quizás es más fácil de lo que me parece pero hace 40 min que es-

toy...

10:12 6 de Feb - +54 9 11 6535-.... : Podríamos juntarnos a las 2 en la facu. Hacemos ejercicios y después le consultamos a Oscar, cuando venga, las dudas que surjan. Llegan a las 2?

Queda claro nuevamente, que a pesar de saber que el contacto con el profesor es constante solo acceden a él cuándo es absolutamente necesario. Tener seguridad de contar con asistencia los ayuda en su propia construcción y les permite mayor independencia.

También es necesario cuidar y proteger a los jóvenes, la universidad atiende particularmente este aspecto relacionado con la seguridad de los estudiantes. *Twitter* y *WhatsApp* son herramientas útiles para comunicar cuestiones de seguridad:

12:48 7 de Feb - oscarrbruno: Chicos acaban de avisar que el campus está inundado y suspendieron las actividades. Por favor avisen a sus contactos.

Además de las cuestiones propias del desarrollo de temas disciplinares el modelo es útil para comunicar situaciones de seguridad o comunicaciones generales. Aquí la tecnología, en particular la móvil es un aliado valioso.

Habiendo repasado las relaciones de forma y contenido dentro del curso, queda la última instancia de todo proceso de aprendizaje: las concepciones que tienen los involucrados sobre la posesión del conocimiento.

19:38 7 de Feb - +54 9 11 6375-.... : Profe, se puede tener en una matriz como índices de acceso distintos tipos de datos?

19:39 7 de Feb - +54 9 11 6375-.... : Por ej que en la columna hayan caracteres y en las filas hayan enteros?

19:55 7 de Feb - +54 9 11 6535-.... : Profe una consulta, en este ejercicio

14:43 9 de Feb - +54 9 11 6535-.... : Gracias profe!

14:46 9 de Feb - oscarrbruno: A seguir estudiando. Subí a Twitter material completo de la materia. Bájenlo y recuerde que los próximos tres días abordaremos el tema de archivos. Sería conveniente adelantar lectura

Se manifiesta aquí la variedad de recursos a los que pueden tener acceso, es posible ir adelan-

tando las cuestiones de planificación en general, la experiencia lo demuestra, si está escrita solamente, los estudiantes no lo leen. Aquí puede actuar como recordatorio con la particularidad de saber claramente que se debe leer.

Las participaciones del profesor procuran ser mínimas, solo para orientar pero sin que lo resuelva el profesor, salvo que sea absolutamente necesario. En el análisis de la secuencia se observa que la tutoría busca ser guía y no la postura cómoda de acercar resolución por parte del tutor.

Recordar particularidades despierta el interés y obliga a recuperar su propio conocimiento, como se ve en la secuencia siguiente:

7:53 13 de Feb - +54 9 11 5018-.... : Entonces use una función de insertar ordenado antes, como para hacer las pruebas, ya q el array tengo q cargarlo yo primero

7:54 13 de Feb - +54 9 11 5018-.... : Pero me acabo de dar cuenta q me complico demasiado jaja. Es más simple que eso. Así que ahora lo cambio

El aporte de las nuevas herramientas tecnológicas dentro del contexto educativo favorece una retroalimentación positiva, permitiendo una interacción crítica y creativa. Las opiniones de algunos estudiantes en ese sentido fueron:

"En mi opinión el poder manejarse uno con el profesor y sus compañeros a través de un grupo de *WhatsApp* es excelente. Para estudiar este tipo de materias en donde se tiene que practicar mucho y, consecutivamente surgen muchas dudas y dificultades, es necesario el hecho de estar constantemente conectados y vinculados para saciar estas dificultades y avanzar hacia el fin común, que es aprender.

Otras ventajas que encuentro, a mi criterio, es que las dudas de los demás pueden llegar a ser una duda tuya, y el estar asentado por escrito te ayuda a comprender mejor que si se dijera de palabra. Cuando un alumno pregunta respecto a un ejercicio X, el profesor u otro alumno responden. Si otro alumno todavía no llegó a ese ejercicio por estar un poco más atrasado, el hecho de tener todo escrito hace que al momento de llegar, este último, al ejercicio X y teniendo quizás la misma duda que el primero pueda ver qué se le contestó. Así es como una única duda ayuda al resto de los alumnos, también

pudiendo el profesor contestar una vez, en vez de a cada uno individualmente. Se fomenta el trabajo en equipo. El poder enviar fotos agiliza la comunicación.

Como una desventaja, le encuentro que si son grupos muy numerosos, la cantidad de dudas es mucha y no hay una correcta organización, la comunicación tiende a ser complicada".

Opinión personal según: M. T.

"Creo que ha sido muy útil en este curso de verano de algoritmos, pude satisfacer mis dudas rápidamente tanto con el docente como preguntando a otros alumnos; así como también ayudar a otros cuando también lo necesitaban.

Veo que es algo que nunca se hizo, por lo menos dentro de mis años de cursada tanto en el colegio como en la universidad, y que de verdad puede resultar muy interesante para todos.

Nos llegamos a conocer mucho mejor: entre los compañeros desarrollamos un vínculo de amistad compartido por el deseo de que nos fuera bien, para luego generar amistades que si Dios quiere van a perdurar a lo largo de la carrera. Por otra parte, conocimos mejor la personalidad del docente que nos acompañaba con paciencia, viniendo temprano antes de las clases y siempre dispuesto a ayudar, eso es muy valorable.

Cosas que se deberían mejorar: Yo en lo personal no puedo decir que haya tenido algún inconveniente con el sistema, usando la herramienta (*WHATS APP*) que es gratuita y casi todo el mundo la tiene hoy en día en su celular, nos hemos manejado perfectamente. Quizás a veces era incómodo cuando se hablaba de comparar diagramas, o sea mostrar el de alguno de nosotros, pues no siempre es el método más cómodo para intercambiar imágenes, pero como en internet existen millones de herramientas accesibles tan solo con el buscador *GOOGLE*, encontramos una página donde podíamos dibujar los 5 integrantes a la vez, mientras veíamos lo que cada uno hacía. Eso por supuesto nos simplificó bastante: el link de esta página es <http://www.twiddla.com/>

En síntesis yo he quedado muy conforme y espero que se pueda seguir aplicando el método para otras materias y docentes ya que creo como alumno que serviría para bien, siempre y cuando se tengan las ganas de trabajar".

Esto, a su vez, implica que tanto profesores como alumnos cumplen con un rol activo. El alumno deja la "potencialidad" para pasar a hacerse de su potencia y el profesor completa su rol "transmisor" pasando a ser también un receptor de la potencia creativa del alumno. Con estos grados de compromiso, el contexto educativo potencia su capacidad creadora y genera un entorno más dinámico que facilita y atiende a las actividades de aprendizaje y enseñanza de ambos agentes permitiendo, de ese modo, que ambos aprendan, enseñen, construyan con el aporte del otro. (Bruno, 2013)

Conclusiones

Las reflexiones llevadas a cabo en este trabajo permitieron comprender la importancia que los procesos de enseñanza y aprendizaje tienen en la asignatura Algoritmos y Estructura de Datos en particular y en la enseñanza de la ingeniería en general. El modelo propuesto constituye una visión sintética de teorías y enfoques pedagógicos que se orientan hacia cambios productivos en los procesos de enseñanza y aprendizaje, contemplando aquello que se ha percibido como aporte o soluciones a problemas dentro del aula. El complemento experimental "pedagogía móvil" tuvo el propósito de reflexionar sobre la práctica de otras alternativas de aprendizaje y enseñanza.

El modelo permitió una colaboración activa, contacto permanente y tutoría académica en línea. El planteo fue entonces, considerar la posibilidad del complemento experimental como una alternativa, no como centro del proceso pedagógico ni didáctico. Con este objetivo es que se busca valorar e integrar el saber de todos, compartiéndolos a partir de la premisa de "conocimientos inclusivos" (Bruno, 2013). El objetivo de la investigación se centró en maximizar las posibilidades de aprendizaje, midiendo el progreso en base a los logros de la cátedra, por un lado, entre los que se encuentran mejorar la comprensión de tópicos relacionados con la programación, la resolución de problemas y el aumento del índice de retención de estudiantes y de los alumnos, por otro, que se relacionan con la comprensión de problemas de información, la selección de estructuras de datos y de estrategias de resolución de problemas, el mejoramiento del rendimiento en los resultados de las evaluaciones finales de la materia en estudio, y, finalmente la integración y vinculación de los

saberes de todas las materias. Los principios de Merrill, puestos en práctica en la investigación, ofrecieron los aspectos necesarios para garantizar una instrucción de alta calidad.

A esto debe agregarse que el modelo garantizó la comunicación tutorial constante. Se llevaron a cabo ajustes en el rol docente, pasando éste a ser un colaborador, facilitador, constructor del trabajo de los estudiantes mediante la utilización de documentos compartidos. Los estudiantes mostraron compromiso y participaron en la construcción del objeto de conocimiento en forma activa mediante el uso de las herramientas colaborativas puestas a su disposición.

La experiencia mostró que los puntos cruciales de aprendizaje se producían cuando se presentaban problemáticas que implicaban resoluciones grupales a partir del uso dispositivos móviles, herramientas que fueron valoradas muy positivamente por el grupo experimental.

El *m-learning* se manifestó como una importante alternativa para el aprendizaje electrónico. Podría ser la base para comenzar a debatir la incorporación de la modalidad, junto con el *e-learning* (aprendizaje electrónico) y el *blended-learning* (aprendizaje mixto) en algunas materias de los primeros años de ingeniería. El análisis de los resultados muestra una relación directa entre la modalidad propuesta y la eficiencia del aprendizaje, fundamentalmente en aquellos estudiantes que manifestaron tener conocimientos previos de programación.

En todos los casos se observó que las respuestas del grupo experimental fueron satisfactorias. Esto resulta particularmente interesante ya que esos estudiantes provenían de una experiencia no muy favorable, la no aprobación del curso en su instancia regular, razón por la cual realizaron este curso intensivo. Esto puede ser interpretado como una doble valoración del modelo vinculada no sólo con las diferencias de contexto de estudio, sino también con la supervisión y el apoyo continuo en el mismo momento en que son requeridos.

Se puede concluir que: con la experiencia de *m-learning* se ha logrado según la propia opinión de los estudiantes: a) alcanzar totalmente los objetivos de aprendizaje; b) mejorar la calidad de la educación; c) acceder al material en forma simple; d) lograr seguridad mediante comunica-

ción y tutoría permanente; e) contar con teoría y práctica en todo momento por la posibilidad de compartir videos en línea, aprovechando al máximo las alternativas que brindan las redes sociales.

La experiencia mostró un fuerte incremento en el uso del campus virtual disponible en la universidad. Esto obedeció a dos razones: una a favor del modelo, al familiarizarse con el aprendizaje en línea vieron las ventajas del aprendizaje electrónico. La otra por una debilidad del modelo, una computadora de escritorio les ofrecía algunas ventajas de lectura por el tamaño de la pantalla. Los estudiantes en general expresaron facilidad de navegación y un recorrido adecuado en el desarrollo de los temas específicos de programación. Aparecen además indicios de que la navegación y el uso de equipo móvil son más funcionales que una computadora personal. Todos valoran la utilización de gráficos, ilustraciones y videos y la posibilidad de acceso en línea y en movimiento.

Respecto a la comunicación sincrónica pudo observarse que si bien las actividades estaban organizadas de modo tal que podían resolverse totalmente con comunicaciones asincrónicas en ningún momento se planteaba eso como restricción. Más aún, se incentivaba la comunicación sincrónica y las ventajas adicionales que la misma ofrecía. Las comunicaciones telefónicas, el chat y el uso de *WhatsApp* entre estudiantes o con el profesor fueron constantes. Uno de los propósitos del estudio se centraba en poner a prueba la funcionalidad de la comunicación sincrónica. En definitiva los estudiantes estuvieron de acuerdo con la afirmación de que la telefonía IP es muy útil para el aprendizaje según los resultados de la experiencia desarrollada.

La comunicación por correo electrónico mostró un funcionamiento adecuado con la utilización de los teléfonos. La recepción de consignas y la presentación de trabajos al profesor se vieron facilitadas con la posibilidad de adjuntar archivos a los correos electrónicos o mediante la utilización de archivos compartidos.

No hubo objeciones respecto a las lecturas de documentos desde los dispositivos en general, aunque en ocasiones valoraban las ventajas de la lectura en computadora hasta, en algún momento, se usaron fotocopias con los enunciados de los ejercicios para su resolución. La

opinión general indica que los textos resultaron absolutamente legibles, los videos y archivos de sonido fueron claros y con acceso simple. Las objeciones a los textos solo estaban vinculadas con el desplazamiento, a veces confuso, por los mismos. Esto se pudo complementar satisfactoriamente con el campus virtual.

En cuanto a la toma de notas en clase y la posibilidad del uso de la cámara fotográfica para captar el pizarrón del profesor fue un complemento importante para el desarrollo de los temas. Se agrega aquí que se tuvo en cuenta la posibilidad de fotografiar el pizarrón por lo que para la escritura del mismo se procuró el mayor orden y cuidado y no se borraba durante el desarrollo de la clase. Indirectamente se vio favorecida la tecnología que tanto utilizamos los docentes, la tiza y el pizarrón.

La variedad del material fue también un valor agregado para el aprendizaje. Se pusieron a prueba distintos tipos de archivos multimedia (texto, sonido, videos), tanto en secuencias de instrucción como en secuencia de presentación de los estudiantes, el *ScreenCasts* fue la modalidad aceptada por todos los participantes. Posibilitó llevar teoría y práctica a la casa y en movimiento.

La mayoría de los estudiantes respondieron positivamente a las consultas vinculadas con las ventajas de contar con un ambiente siempre en línea. Sin embargo, nadie aceptó el ambiente de *m-learning* como único para la formación sino que reconocieron sus aspectos positivos en tanto complemento para aumentar el acceso y dar mayor flexibilidad al aprendizaje, esta opinión es apoyada por las respuestas a las preguntas finales. La modalidad fue valorada como complemento; la encontraron divertida y con mayor facilidad de acceso de la esperada. Pudieron aprovechar el tiempo libre y/o de viaje, estudiando con método. Otras características valoradas fueron la facilidad de navegación, como así también la comodidad para leer texto, gráficos y animaciones. Todos destacaron, fundamentalmente, la dialogicidad, como señala Cartolari (2014), que dio lugar a desplegar la propia voz redistribuyendo el poder sobre el saber, apropiándose de los contenidos a través de la retroalimentación en un ir y venir recursivo y reflexivo entre bibliografía, interpretaciones y práctica y ayudando a quienes más dificultades tenían.

La presente investigación buscó demostrar que el uso de los teléfonos móviles es un método novedoso y a la vez, una herramienta de organización y estudio. Al profesor le permitió demostrar lo viable y factible de su empleo como herramienta de verificación y evaluación de los resultados de sus estudiantes. Gracias a la implementación de esta metodología se pudo profundizar sobre los contenidos específicos y la vinculación horizontal con las materias propias de la especialidad y las correspondientes a las ciencias básicas, utilizando aplicaciones específicas para celulares que abordan cuestiones matemáticas, probabilísticas y pertenecientes a la física.

La propuesta metodológica para la organización de los temas propios de la asignatura sumada a la utilización de los dispositivos móviles, permitió relacionar e integrar saberes para la correcta selección de estructuras de datos y secuenciación de acciones para la solución de problemas. Para ello se buscó apuntalar el sistema de valores determinados por la asignatura al promover el criterio personal, y valorar el propio trabajo; disponer la necesidad de las evaluaciones alternativas valorando los resultados de las modificaciones en el planteo del problema; acercar material bibliográfico por distintos medios y elaborados por distintos autores, entre ellos los mismos estudiantes; entender que la complejidad computacional se ve favorecida con la implementación de soluciones simples; buscar eficiencia y eficacia mediante diseños algorítmicos comprensibles, reusables y simples; fomentar un pensamiento creativo; promover la activación, comprensión, demostración, adaptación, integración y colaboración; evaluar la eficiencia del proceso de construcción y no sólo los resultados; hacer uso inteligente de las tecnologías de la información y las comunicaciones como herramienta de aprendizaje y fortalecimiento aprendizaje colaborativo.

La tecnología, como señala Gardner (2013), ofrece nuevas formas de autoconocimiento, nuevas formas de vínculos y nuevas formas para ejercitar la imaginación. Le educación no termina en la universidad, es para TODA LA VIDA, también comienza antes de la escuela. Los dispositivos digitales hicieron posible un nivel de individualización y pluralización difícil de alcanzar sin ellos. Las personas pueden estudiar o adquirir una habilidad cuando lo de-

seen, al ritmo que elijan, solas o en compañía. Dos personas no tienen por qué ser educadas o educarse a ellas mismas de un único modo preestablecido. Los sistemas pedagógicos únicos aparecen como anacrónicos. Hay muchas maneras, con diversos grados y distinta proactividad de adquirir conocimientos. Los dispositivos permiten colaboración a distancia. Pero es necesario tener en cuenta que el aprendizaje en la era digital tiene debilidades que se resuelven satisfactoriamente en las universidades, pasando tiempo en compañía de pares y profesores bien formados e informados. Hace más de 60 años, Polanyi señaló que: "Uno podría pasarse toda la vida leyendo libros de ciencia en el rincón más remoto del mundo, pero toda esa inmersión literaria no podía compararse con unas semanas en un buen laboratorio del mundo..." En definitiva, hablamos de educación, todo lo que con ella está involucrado es un arte en muchos aspectos por lo que es bueno seguir el consejo que como educadores debemos: escuchar, escuchar más y entonces, seguir escuchando.

Este trabajo da continuidad a la investigación de la tesis doctoral *"Modelo pedagógico colaborativo e integrador del saber de todos: un estudio de caso sobre e-learning basado en la inversión de roles de aprendices y maestros"*. Allí se desarticulan automatismos instrumentales que limitan la creatividad y plantean una relación asimétrica en la posesión del conocimiento.

Agradecimientos

Mi profundo agradecimiento a toda la comunidad educativa UTN.BA, a su decano Ing. Guillermo Oliveto por avalar mi presentación a la residencia posdoctoral; al director del Departamento de Sistemas Ing. Andrés Bursztyn por su apoyo constante; a la Dra. Zulma Cataldi por su acompañamiento permanente; a la SAE y CEIT por su continua colaboración; a mis colegas docentes, en especial a C. Tomassino y a todos los estudiantes de la comunidad Uteniana.

Referencias

- BATESON G. (1998) Pasos hacia una ecología de la mente. Buenos Aires. Lohle-Lumen.
- BRUNO, O. (2005) Percepción de los alumnos y de los docentes acerca de la incorporación de un Sistema Tutor Inteligente para el aprendizaje de algoritmia. Tesis de Maestría en Docencia Universitaria. UTN.BA.
- BRUNO, O. (2008). SEPA Algoritmia Sistema Experto Para el Aprendizaje de algoritmia. Trabajo de integración Especialización en Ingeniería en Sistemas. UTN.BA (S/P).
- BRUNO, O. (2013) Modelo pedagógico colaborativo e integrador del saber de todos: un estudio de caso sobre e-learning basado en la inversión de roles de aprendices y maestros. Tesis doctoral. Untref- Unla.
- CATALDI, Z. y SALGUEIRO, F. (2012 a) Tecnologías Inteligentes y Teoría Uno para el Modelado del Tutor en Sistemas Tutores Inteligentes Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires.
- CATALDI, Z. y SALGUEIRO, F. (2012 b) Nuevo enfoque metodológico para el diseño de de los sistemas tutores inteligentes a partir de un acercamiento distribuido. Laboratorio de Sistemas Inteligentes. Facultad de Ingeniería. Universidad de Bs. As.
- DAVINI, M. (2011) Métodos de enseñanza: didáctica general para maestros y profesores. Buenos Aires, Santillana 2da. Ed.
- GARDNER, H. (2008) La mente no escolarizada. (3ª ed.). Buenos Aires: Paidós.
- GARDNER, H. (2010) La nueva ciencia de la mente. (1ª ed.). Biblioteca H. Gardner. España, Paidós.
- GARDNER, H. DAVIS, K. (2014) La generación APP: como los jóvenes gestionan su identidad, su privacidad y su imaginación en el mundo digital . (1ª ed.). Argentina. Paidós.
- LONGWORTH, N. (2005) El aprendizaje a lo largo de la vida en la práctica: transformar la educación del siglo XXI. España, Paidós.
- STONE WISKE, M. (1999) La enseñanza para la comprensión. (1a ed.). Buenos Aires, Paidós.
- SZNAJDLEDER, P. (2013) Seminario Inteligencia de Negocios Maestría en Ing. en Sistemas UTN. BA Dictado por Dr. Ramón García Martínez, Fuentes electrónicas.
- MERRILL, M. DAVID. (2002a) "First principles of Instruction". Educational Technology, Research and Development, vol. 50, núm. 3, p. 43-59. También disponible en línea en: <http://id2.usu.edu/Papers/5FirstPrinciples.PDF> [Consulta: 24 diciembre 2013].
- MERRILL, M. DAVID. (2002) "A pebble-in-the-pond model for instructional design". Performance Improvement, vol. 41, n.º 7, p. 39-44. También disponible en línea en: http://www.ispi.org/archives/resources/Vol41_07_41.pdf [Consulta: 24 diciembre 2013].
- MERRILL, M. DAVID. (2007) "A task-centered instructional strategy". Journal of Research on Technology in Education, vol. 40, n.º. 1, p. 33-50. en línea en http://mdavidmerrill.com/Papers/Task_Centered_Strategy_published.pdf [Consulta: 20 diciembre 2013].
- NAISMITH, L., LONSDALE, P., VAVOULA, G., SHARPLES, M. 'Mobile technologies and learning' in Futurelab Literature Review Series, Report No 11, (© Futurelab 2004) Disponible en línea en <https://lra.le.ac.uk/handle/2381/8132> [Consulta 20 de diciembre 2013].
- REIGELUTH, C. (2012) Teoría instruccional y tecnología para el nuevo paradigma de la educación. RED, Revista de Educación a Distancia. Número 32. 30 de septiembre de 2012. Consultado el (26/12/2013) en <http://www.um.es/ead/red/32>.
- REIGELUTH, C. Instructional Theory and Technology for the New Paradigm of Education RED. Revista de Educación a Distancia. Número 32 <http://www.um.es/ead/red/32> disponible en línea en http://www.um.es/ead/red/32/reigeluth_es.pdf [Consultada: 26 de diciembre 2013].
- SHARPLES, D. THE Design and Implementation of a Mobile Learning Resource Mike Dan Corlett, Oliver Westmancott, Educational Technology Research Group, School of Engineering, University of Birmingham, Edgbaston, Birmingham B15 disponible en línea en <http://www.eee.bham.ac.uk/sharplem/Papers/mobile%20learning%20puc.pdf> [Consultada: 20 de diciembre 2013].

Factores que influyen en el crecimiento de la biomasa algal

Maximiliano Argumedo Moix, Paola Álvarez, Ricardo Mateucci, Victor Bustos, Patricia Della Rocca

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

patriciadellarocca@hotmail.com

Recibido el 26 de junio de 2014, aprobado el 22 de julio de 2014

Resumen

La biomasa algal, según su composición química, puede destinarse a la producción de alimentos para consumo humano o animal, suplementos nutricionales, cosméticos, biofertilizantes, pigmentos, antioxidantes, especialidades químicas, etc. Tanto la producción de biomasa microalgal como la de sus productos derivados pueden ser optimizadas mediante una adecuada modificación de las condiciones físicas y la composición de los medios nutrientes utilizados para sus cultivos. Este trabajo se centra en el estudio de los parámetros que tienen influencia sobre la producción de la biomasa microalgal de *Spirulina Platensis*. Con respecto a la influencia de los factores físico-químicos se analizan la incidencia de la concentración inicial de inóculo, la intensidad lumínica y el método de agitación. La optimización de estos parámetros y otros como la temperatura, el pH, los ciclos de luz y oscuridad, resultan determinantes en la explotación comercial de biomasa y/o sus productos secundarios (metabolitos) de interés. Disponer de información sistemática sobre estas tecnologías constituye un desafío tecnológico fundamental en relación a la matriz productiva de nuestro país.

PALABRAS CLAVE: BIOMASA ALGAL - SPIRULINA SP. - CULTIVO DE ALGAS

Abstract

According to its chemical composition, algal biomass could be used to produce food, feed, nutritional supplements, cosmetics, biofertilizers, pigments, antioxidants, fine chemicals, etc. Both the production of microalgal biomass and its derivatives can be optimized by a proper modification of physical conditions and nutrient media composition applied when their cultures. This work is focused on the study of parameters relevant to *Spirulina Platensis* microalgal biomass production. Related to the physical and chemical factors, influence of inoculum initial concentration, light intensity and stirring method were analyzed. Optimization of said parameters, including also others like temperature, pH, light-dark cycles, is critical for the commercial exploitation of biomass and/or its valuable secondary products (metabolites). The achievement of meaningful information on these technologies is a significant challenge regarding the productive matrix of our country.

KEYWORDS: ALGAL BIOMASS - SPIRULINA SP. - ALGAE CULTURE

¹ Son también autores de este artículo: María del Carmen Gutiérrez, Ana Giuliatti

Introducción

Frente al incremento de la población y sus necesidades, el descubrimiento de fuentes sostenibles de recursos se tornó en un requerimiento imperioso. Asimismo, los ambientes acuáticos han sido y siguen siendo fuente de alimentos, minerales y otros productos naturales. La biomasa microalgal y los metabolitos obtenidos a partir de ella representan trascendentales recursos con beneficios potenciales en diferentes áreas.

Las microalgas son fuentes interesantes de una gran cantidad de compuestos (Benemann et al., 1987; Skulberg, 2000). No sólo tienen la capacidad de producir compuestos de alto valor comercial sino también la habilidad de crecer rápidamente utilizando luz solar, dióxido de carbono y nutrientes obtenidos del cuerpo de agua donde crecen. El medio tradicional de cultivo puede reemplazarse por efluentes domésticos o industriales y, luego de la adaptación de las microalgas a estos ambientes, se puede alcanzar una mayor sustentabilidad económica. Por otra parte, combinar la producción de biocombustibles a partir de microalgas y el tratamiento de efluentes constituyen una estrategia prometedora para la resolución de problemas relacionados con la crisis energética y con la eutroficación de cuerpos de agua.

La obtención de biomasa microalgal y la de productos derivados puede resultar de interés comercial si es optimizada mediante la modificación de las condiciones físicas y de la composición de los medios de cultivo utilizados para su producción. Entre los que cabe resaltar el empleo de fuentes de carbono alternativas a partir de desechos agroindustriales y aguas residuales de diferentes tipos de industrias.

En el presente trabajo se estudió la influencia de los parámetros (concentración del inóculo inicial, método de agitación e iluminación) en el crecimiento de la biomasa microalgal de la especie *Spirulina Platensis*.

La *Spirulina sp.* es una cianobacteria, microalga verde-azulada, procariota cuyo crecimiento principal es fotoautótrofo. Puede ser cultivada para la obtención de productos químicos de uso específico en la industria alimenticia, cosmética o farmacéutica. Es fuente de proteína vegetal de alta calidad, de ácidos grasos poliinsaturados, vitamina E, ácido fólico y vitaminas del complejo B y pigmentos como carotenoides, ficocianobilinas

y clorofilas. Se presenta como células cilíndricas de 3 a 12 μm de diámetro, agrupándose en tricomas helicoidales de aspecto filamentosos. La fuente principal de nitrógeno es el nitrato, que también puede ser aportado por amoníaco o urea. En caso de tener un medio deficiente en nitrato, puede metabolizar la ficocianina, tornándose de color rojo. Los minerales, potasio y sodio son indispensables. Son alcalófilas, es decir, se cultivan en condiciones de pH elevado, siendo el óptimo entre 9,5 y 9,8. Por encima de pH = 11, el alga no crece y tampoco soporta cambios bruscos del mismo.

El rango óptimo de temperatura es de 35 a 38 °C. Por encima de los 40 °C y por debajo de los 12 °C puede sufrir lesiones. Tolerancia salinidades bajas del orden de 10 a 100 mM de NaCl.

La *Spirulina Platensis* posee estructuras superficiales adicionales tales como vainas, cápsulas o mucílago disperso, compuestos principalmente de polisacáridos que, durante el crecimiento de las células en cultivos estacionarios, son liberados al medio provocando que éste se torne más viscoso. Estos polisacáridos solubles en el medio son fácilmente recuperables, por lo que se han sugerido diferentes aplicaciones en biomedicina y en la industria cosmética y de alimentos, como agentes emulsificantes, estabilizantes o espesantes (De Philippis y Vincenzini, 1998). En particular el polisacárido sulfatado, conocido como Ca-SP, inhibe la replicación del VIH, Herpes simplex, citomegalovirus humano, virus de la influenza A, paperas y sarampión (Kozlenko y Henson, 1998; Chamorro et al., 2002). Los exopolisacáridos de esta cianobacteria pueden emplearse como sustitutos del agar-agar (De Philippis y Vincenzini, 1998).

La composición de la microalga es:

Proteínas: 50 a 65 % en peso seco
Lípidos: 5 a 11 % en peso seco
Glúcidos: 8 – 14 % en peso seco
Vitaminas: B1, B2, B12, C, E, biotina, provitamina A
Ácidos nucleicos: 4 % en peso seco
Además posee 18 aminoácidos esenciales, ácidos grasos como el ácido linoléico y el γ -linoléico. También posee galactosil diglicéridos y fosfatidil glicerol, carotenoides y ficobiliproteínas.

Metodología

Para la realización de este estudio se utilizó un

tipo de cepa, proveniente del Laboratorio de Microalgas de la Facultad de Ciencias Naturales de la sede Trelew de la Universidad de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB).

La biomasa microalgal se midió por densidad óptica. Se determinó por espectrofotometría la máxima absorbancia de la biomasa de *Spirulina Platensis* en un rango de longitudes de onda comprendido entre 500 y 700 nm. El valor máximo se obtuvo a 680 nm. Se estimó una correlación entre la absorbancia y la densidad óptica para esta longitud de onda.

El método de conservación del alga se realizó por pasaje seriado. Se eligió este método por su sencillez y bajo costo. Se sembraron alícuotas en nuevos medios de cultivo por duplicado. La transferencia seriada se llevó a cabo en un flujo laminar. Se repicaron 10 ml de suspensión de microalga en 40 ml de medio fresco, cada 15 días. Las condiciones de mantenimiento del cepario fueron:

Medio de cultivo: Zarrouk

pH: 8,5

Salinidad: baja

Fotoperíodo: 12 h

Intensidad de luz: 3000 lux

Coloración de luz: tonalidad media

Temperatura: 22 °C

Agitación: no posee.

Se estudió cómo afecta la concentración inicial del inóculo a la velocidad específica de crecimiento del microalga. Además, se estudiaron los efectos que produce la variación del volumen de inóculo inicial sobre la producción de biomasa. Para ello se realizaron ensayos por triplicado tomando como volumen inicial de inóculo 5 ml, 10 ml y 20 ml de cultivo sobre un volumen final de 50 ml, los cuales corresponden a 10% v/v, 20% v/v y 40% v/v, respectivamente. Los ensayos se realizaron en Erlenmeyers de 250 ml que fueron mantenidos en una cámara de cultivo, en las mismas condiciones de mantenimiento de las cepas. Se tomaron muestras diarias durante 49 días a las cuales se les determinó su densidad óptica a 680 nm. Se utilizó la correlación de Biomasa-DO mencionada anteriormente para determinar la biomasa de cada muestra.

Se consideró la ecuación de crecimiento exponencial de biomasa microalgal:

$$\ln X : \ln X_0 + \mu t$$

X: biomasa a tiempo t

X₀: biomasa inicial

μ: velocidad de crecimiento específico

El tiempo de duplicación es al que corresponde un crecimiento de biomasa igual al doble de la inicial.

Asimismo, se analizó cómo influye el crecimiento de biomasa algal con el método de agitación, que afecta la distribución de los nutrientes y la difusión del dióxido de carbono. En este sentido, una de las experiencias no recibió agitación y la otra se agitó a una velocidad de 100 rpm con un agitador orbital (Cole Palmer). En una tercera experiencia la agitación se llevó a cabo mediante burbujeo con aire utilizando un aireador de pecera, marca Hailea, modelo V-10. En este último sistema se colocó un balón con agua estéril en la línea de aire, previo al ingreso al cultivo, para que el aire entrara húmedo a fin de evitar la evaporación del medio cultivo. Además, se colocó un filtro a la salida de la bomba de aire para retener el material particulado. Los cultivos se mantuvieron en la cámara de cultivo en las siguientes condiciones:

Intensidad lumínica: 1500 lux

Fotoperíodo: 12 h

Temperatura: 26 °C

Medio de cultivo: Zarrouk

Volumen de inóculo: 10 ml (de un cultivo de 15 días)

Volumen final: 100 ml

Recipiente erlenmeyer: 250 ml

Se analizó también la incidencia de la intensidad de luz sobre el crecimiento de las microalgas. Se irradió con diferente intensidad de luz los cultivos con una fuente de 3000 lux y una de 830 lux, respectivamente.

Resultados y análisis

La Fig.1. presenta la correlación obtenida entre biomasa y absorbancia, que representa muy satisfactoriamente los datos experimentales.

Experiencias en la que se modificó la concentración inicial del inóculo y se analizó su influencia sobre el crecimiento de la biomasa algal.

El tiempo de duplicación se incrementó a mayor concentración de inóculo inicial. Sin embargo, en

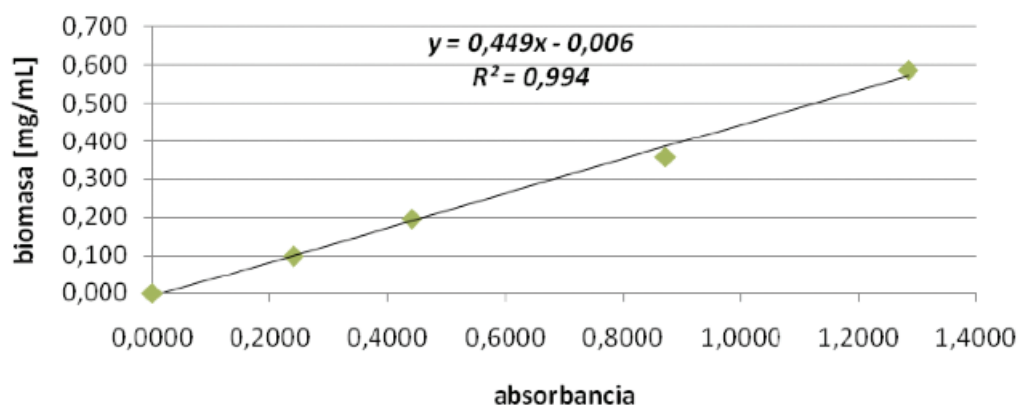


Fig. 1. Correlación entre la concentración de biomasa (mg/ml) en función de la absorbancia

todos los casos, los cultivos alcanzaron una concentración de biomasa de 8 mg/ml al cabo de los 50 días. Por consiguiente, la concentración inicial del inóculo no representa un factor limitante en la producción final de biomasa. Una mayor concentración inicial del inóculo forma agregados que dificultan la medición de la densidad óptica y la absorción de nutrientes y de dióxido de carbono afectando su viabilidad.

En la Fig. 2. se representa la curva de crecimiento de biomasa en el tiempo para diferentes volúmenes iniciales de inóculo.

En la Tabla 1 se pueden apreciar los valores obtenidos de velocidad específica y tiempo de duplicación para los distintos volúmenes de inóculo inicial.

Experiencias en la que se modificó el método de agitación y se analizó su influencia sobre el crecimiento de la biomasa algal.

En la Fig. 3. se muestra el crecimiento de biomasa en función del tiempo para diferentes métodos de agitación.

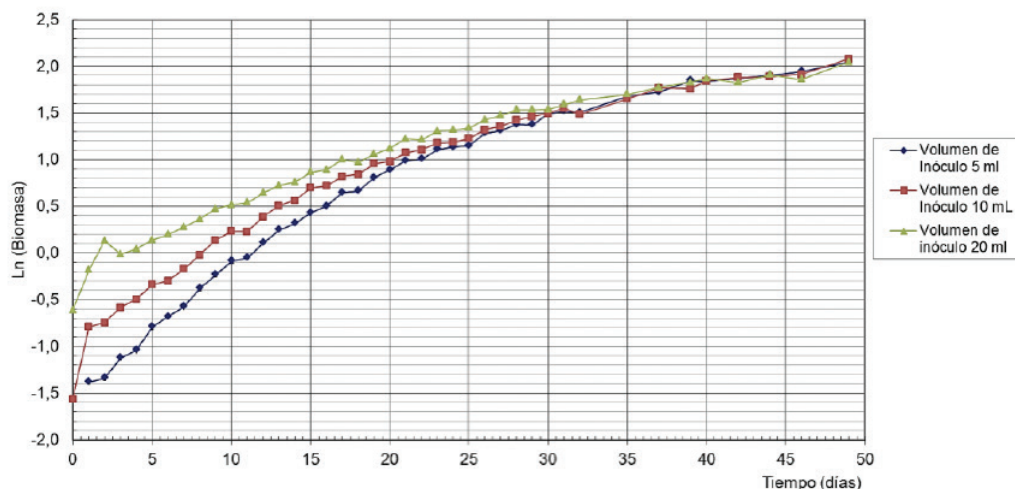


Fig. 2. Biomasa en función del tiempo para distintas concentraciones de inóculo inicial

Vol. de Inóculo (mL)	5	10	20
μ (días ⁻¹)	0,1210	0,1042	0,0723
Td (días)	5,73	6,65	9,59

Tabla 1. Velocidad específica y tiempo de duplicación para distintos volúmenes iniciales de inóculo

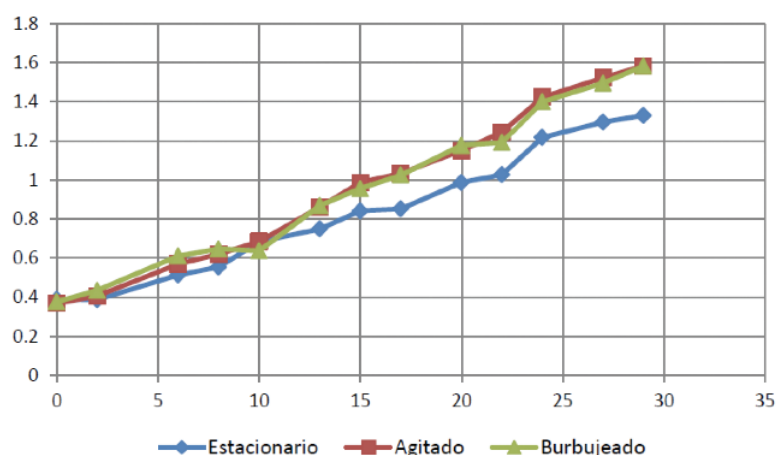


Fig. 3. Biomasa en función del tiempo para diferentes métodos de agitación y en estado estacionario (sin agitación)

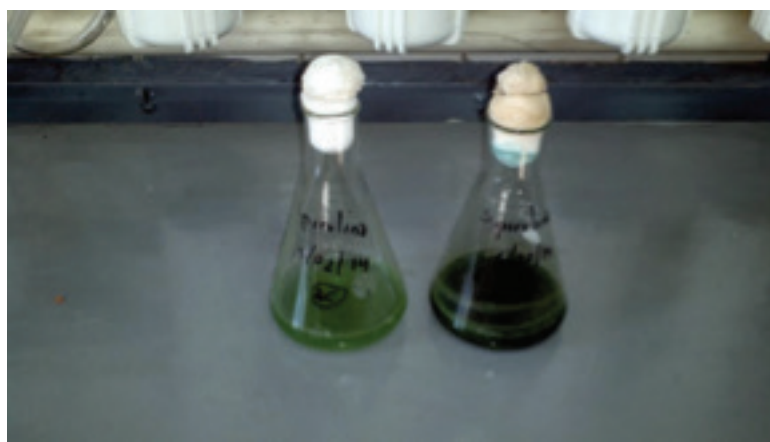


Imagen 1. Izquierda cultivo irradiado con 830 lux y derecha cultivo irradiado con 3000 lux

Para el tiempo analizado se aprecia que no existen diferencias entre los métodos de agitación por agitador orbital y por burbujeo de aire, si bien se observa una mayor producción de biomasa algal del cultivo en ambos casos cuando se compara con el cultivo sin agitación, estacionario.

Experiencia en la que se analizó la influencia cualitativa de la intensidad de luz sobre el crecimiento de las microalgas

En la Imagen 1 se puede apreciar la significativa incidencia de la luz sobre el crecimiento algal para diferente intensidad lumínica de irradiación del cultivo: 3000 lux y 830 lux. Cuando la biomasa algal se irradia con mayor intensidad lumínica se produce un mayor crecimiento que se comprueba con la mayor intensidad de color (verde más intenso) del cultivo.

Conclusiones

Para aprovechar la amplia variedad de potenciales productos que se obtienen a partir del cultivo de *Spirulina Platensis*, es muy importante el conocimiento detallado de todos los parámetros (concentración de inóculo inicial, método de agitación, intensidad de la luz, temperatura, pH) que influyen en su crecimiento.

Una menor concentración inicial de inóculo incrementa la velocidad específica de crecimiento de la biomasa microalgal ya que la difusión de nutrientes y de dióxido de carbono resulta mejor al no producirse agregados de inóculo, como ocurre a más altas concentraciones de inóculo. La agitación mejora la producción de biomasa algal porque facilita el acceso de los nutrientes. Finalmente, la intensidad lumínica incide apreciablemente en el crecimiento del cultivo.

Referencias

- BENEMANN, J.R.; TILLET, D.M. y WEISSMAN, J. C. (1987), "Microalgae biotechnology". Trends Biotechnology., 5: 47-53.
- CHAMORRO, G.; SALAZAR, M.; GÓMES DE LIMA-ARAUJO, K.; PEREIRA DOS SANTOS, C.; CEBALLOS, G. y FABILA-CASTILLO, L. (2002), "Actualización en la farmacología de Spirulina (Arthrospira), un alimento no convencional". Arch. Latinoamer. Nutr. 52: 232-240.
- DE PHILIPPIS, R. y VINCENZINI, M. (1987), "Exocellular polysaccharides from cyanobacteria and their possible applications", FEMS Microbiol. Rev. 22: 151-175.
- KOZLENKO, R. y HENSON, R. H. (1998), "Latest Scientific Research on Spirulina: Effects on the AIDS Virus, Cancer and the Immune System". [www.spirulina.com/SPLNews96. html](http://www.spirulina.com/SPLNews96.html).
- SKULBERG, O.M. (2000), "Microalgae as a source of bioactive molecules-experience from cyanophyte research". J. Appl Phycol., 12: 341-348.

Modelo para la determinación de los parámetros reológicos de un aderezo saludable considerando la influencia de la temperatura

Susana N. Santana, Agustina M.E. Zangrando, Alejandro Hayes, Rosa Breier, Ricardo R. Mateucci

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

agusmez@yahoo.com.ar

Recibido el 29 de julio de 2014, aprobado el 29 de agosto de 2014

Resumen

El propósito de este trabajo es evaluar la influencia de la temperatura en los parámetros reológicos de un aderezo para ensaladas, saludable y con bajo contenido graso. Así podrá predecirse el comportamiento del producto durante su procesamiento a escala industrial. Para la caracterización reológica de las emulsiones se ha utilizado un viscosímetro rotacional y un baño termostático, midiendo las propiedades de las muestras a diferentes temperaturas entre 5 y 45 °C.

Las muestras de aderezo mostraron un comportamiento de flujo No Newtoniano, pseudoplástico y tixotrópico, ajustándose a la Ley de Potencia (ecuación de Ostwald-de Waele). El método matemático utilizado para el cálculo de los coeficientes que relacionan dichos índices con la temperatura se basa en un modelo de regresión polinomial. Ha resultado satisfactorio el ajuste del modelo con los resultados experimentales obtenidos.

PALABRAS CLAVE: REOLOGÍA DE ADEREZOS – TEMPERATURA – REGRESIÓN POLINOMIAL

Abstract

The aim of this work is to study the temperature influence on rheological parameters of a healthy and low fat content salad dressing. Thus, the behavior of the product under industrial scale processing could be predicted. For the rheological characterization of emulsions a rotational viscometer and a thermostatic bath were used and the samples properties at different temperatures, ranging from 5 to 45 °C, were measured.

The dressing samples showed a non Newtonian, pseudoplastic and thixotropic behavior, which could be properly described by the Power Law (Ostwald-de Waele equation). Mathematical processing applied to evaluate the influence of temperature on coefficients is based in a polynomial regression model. The experimental data were satisfactorily adjusted by this model.

KEYWORDS: DRESSING RHEOLOGY – TEMPERATURE – POLYNOMIAL REGRESSION

Introducción

El conocimiento de las propiedades reológicas es de relevante importancia en la industria alimenticia. La caracterización de sistemas tan complejos como los alimentos es crítico para optimizar el desarrollo de un producto y su metodología de proceso, además de asegurar la calidad del producto final. El comportamiento del flujo debe ser determinado con mucha precisión, para poder así predecir qué tipo de equipos deben intervenir en el procesamiento del alimento a escala industrial.

Asimismo, la formulación del aderezo objeto de este estudio, persiguió el propósito de ofrecer un alimento con alto contenido de fibra, diferente a los que actualmente se utilizan para vehicular este nutriente, dado que la mayoría de los productos industrializados que contienen inulina, pertenecen al grupo de cereales y legumbres y al de leches, yogures y quesos. Por consiguiente, la población que no consume lácteos, ni alimentos a base de cereales, no encuentra hoy en el mercado productos adicionados con esta fibra dietética. El proyecto pretende ofrecer también un producto adicionado con ácido graso linolénico aportado por el aceite de canola, que debido a sus características organolépticas, por lo general, no es bien aceptado por los usuarios cuando han de consumirlo como tal, perdiéndose sus beneficios para la salud.

Es en ese contexto, que se ha estudiado la dependencia del índice de consistencia y del índice del comportamiento del aderezo, sometiendo a numerosas muestras a temperaturas comprendidas en un rango de 5 – 45 °C. El rango fue seleccionado en función a las temperaturas locales posibles en las que se puede encontrar un aderezo en una góndola de supermercado (desde un día de invierno de 5 °C, hasta un día de extremo calor a 45 °C). Con los resultados obtenidos, se ha modelizado en base a regresiones polinomiales, y los algoritmos se implementaron utilizando el software Matlab, con el fin de hallar correlaciones adecuadas que permitan caracterizar al fluido en función a la temperatura. Es menester aclarar que los resultados obtenidos modelizan específicamente este producto, no obstante en (RAO, M.A. y PALOMINO, N.O., (1974); GARCIA, R. et al. (1974); OLIVEIRA, K. H. et al., 2008) se puede encontrar que para una gran cantidad de productos como helados y purés de frutas

tropicales el modelo utilizado fue el de la Ley de la Potencia ya que es el que presenta un mayor grado de ajuste, como el que aquí se ha obtenido, que muestra un $R^2 = 0,989$.

Diseño Experimental

El alimento funcional estudiado fue desarrollado por los autores responsables de este trabajo. La evolución de su formulación y los análisis reológicos, sensoriales y microbiológicos pueden ser consultados en trabajos anteriores (ZANGRANDO, A. et al., 2009; CAIRO, F. et al. 2011; WHELAN, M.R. et al., 2011; MATEUCCI, R., 2012 y BORDA, M., 2011). La composición porcentual de la mezcla óptima seleccionada como aderezo se presenta en la Tabla 1. La misma se realiza a temperatura ambiente, bajo condiciones estériles en Campana de Flujo Laminar Horizontal Filtrar- Microfilter modelo FHP/1e, sanitizando previamente los elementos a utilizar y el área de producción. Los componentes se pesan en balanza analítica al 0,01 g. y la agitación se realiza en forma estandarizada (tiempo y revoluciones).

Muestra seleccionada	%p/p
Almidón preparado	48,35
Goma Xántica	0,27
Huevo hidratado (Yema, clara y agua)	29,37
Componentes secos (Sal, azúcar e inulina)	5,93
Aceite de Maíz	4,56
Aceite de Canola	4,56
Mostaza en polvo	0,23
Jugo de Limón	6,39
Ajo en polvo	0,10
Tomillo en polvo	0,10
Coriandro en polvo	0,10
betacaroteno	0,0045
Total	100

Tabla 1. Composición de la muestra seleccionada

Para la caracterización reológica se utilizó un viscosímetro rotacional (Brookfield DVII-RVT; Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Middleboro, EE.UU.) utilizando el adaptador Small Sampler con las agujas SC4-21, y SC4-27. La celda de la muestra se colocó dentro de una camisa de agua conectada (Cámara portamuestras SC4-27) a un baño termostático (TC-502 Brookfield) permitiendo determinar la viscosi-

dad a diferentes temperaturas (5°C – 10°C – 15°C – 20°C – 25°C – 30°C – 35°C – 40°C – 45°C).

Las mediciones, recogidas mediante el software Wingather Data 1, se realizaron a varias velocidades de rotación (rango 0,01 a 200 rpm) correspondientes a porcentajes de torque de 10 a 100. Todas las determinaciones se hicieron por duplicado. Posteriormente se grafican los esfuerzos de corte en función a las velocidades de deformación inicialmente crecientes (Ver Fig.1, curva AB) y luego decrecientes (Ver Fig.1, curva BC), para luego determinar la regresión potencial que caracteriza a la curva ABC (Ver Fig.1, curva BD).

Con los datos obtenidos de la caracterización reológica de las muestras sometidas a diversas temperaturas, se procedió a la determinación de las regresiones polinomiales.

Modelo

Modelo utilizado para la caracterización reológica

Para la caracterización reológica de las muestras sometidas a diferentes temperaturas, se ha aplicado el modelo de la Ley de la Potencia de Ostwald-de Waele, siendo su ecuación:

$$\tau = a (\dot{\gamma})^b \quad (1)$$

donde:

τ (Pa) es el esfuerzo de corte en la interface del fluido y el elemento que produce el esfuerzo, $\dot{\gamma}$ (s^{-1}) es la velocidad de deformación en la interface; a ($Pa.s^b$) y b (adimensional) son respectivamente el coeficiente de consistencia y el índice del comportamiento del flujo (parámetros empíricos).

En la Fig. 1. se muestra un ejemplo de cómo han sido simulados los datos de cierta muestra sometida a una dada temperatura (arrojados por el software Wingather Data 1), para poder así, de la curva BD, establecer la expresión que caracteriza a la misma, siendo el R^2 el coeficiente de determinación.

Modelo matemático

Para poder aproximar las curvas características (y sus correlaciones asociadas) que permitan hallar los parámetros a y b , a cualquier temperatura comprendida en el rango de 5 °C – 45 °C, se procedió a la implementación del esquema descrito a continuación.

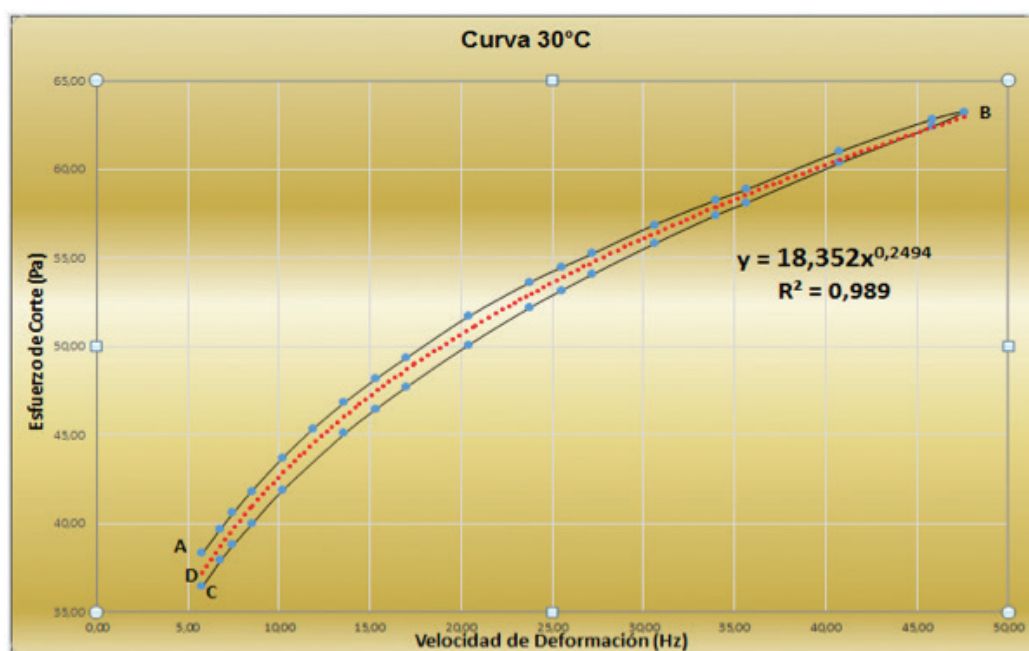


Fig.1. Ajuste de los datos experimentales de una muestra de aderezo sometida a una temperatura de 30°C, analizada con el modelo de la Ley de la Potencia

Dados los conjuntos de datos experimentales:

$$A = \{(T_i, a_i) : 1 \leq i \leq n\} \quad (2)$$

y

$$B = \{(T_i, b_i) : 1 \leq i \leq n\} \quad (3)$$

donde los a_i y b_i son respectivamente el índice de consistencia y el índice del comportamiento del flujo correspondientes a la temperatura T_i . Si ahora denominamos:

$$T_{\min} = \min_{1 \leq i \leq n} T_i \quad (4)$$

y

$$T_{\max} = \max_{1 \leq i \leq n} T_i \quad (5)$$

siendo para este caso, T_{\min} igual a 5 °C y T_{\max} igual a 45 °C. Nos proponemos encontrar funciones polinomiales que minimicen el error cuadrático medio. Esto es, si:

$$R_a(x) = \sum_{k=0}^p \alpha_k x^k \quad (6)$$

y

$$R_b(x) = \sum_{k=0}^p \beta_k x^k \quad (7)$$

Se busca que las cantidades:

$$E_a(\alpha_0, \dots, \alpha_p) = \sum_{i=0}^n [a_i - R_a(T_i)]^2 \quad (8)$$

$$E_b(\beta_0, \dots, \beta_p) = \sum_{i=0}^n [b_i - R_b(T_i)]^2 \quad (9)$$

sean mínimas, esto quiere decir que se busca que los coeficientes de las regresiones polinomiales hagan mínimo el error cuadrático medio. Por tales motivos, se han ensayado modelos de regresiones polinómicas de diferentes grados para su posterior comparación.

Resultados

Todos los datos, producto de la caracteriza-

ción reológica, se han ajustado satisfactoriamente al modelo de la Ley de la Potencia. En la Tabla 2 se muestran los valores obtenidos de a y b de las muestras analizadas a diferentes temperaturas. En la misma, se puede visualizar que el índice de consistencia disminuyó con la temperatura, aumentando el índice de comportamiento de flujo. En todas las muestras el índice de comportamiento de flujo b , es menor que la unidad indicando un comportamiento pseudoplástico.

T (°C)	T (K)	a	b
5	278,15	32,356	0,1931
10	283,15	29,938	0,2119
15	288,15	28,277	0,2208
20	293,15	24,713	0,2097
25	298,15	21,006	0,2344
30	303,15	18,352	0,2494
35	308,15	16,033	0,2631
40	313,15	13,884	0,2783
45	318,15	12,717	0,282

Tabla 2. Valores de los parámetros a y b obtenidos al ajustar con la Ley de la Potencia

Luego de haber sido programado en Matlab, el algoritmo descrito anteriormente se han obtenido funciones de aproximación de diferentes grados para los parámetros a y b .

En las columnas de la Fig. 2. y de la Fig. 3. se muestran los errores cuadráticos medios para cada caso y los errores máximos y mínimos, como así también las temperaturas en las cuales esos errores (máximos y mínimos) han sido detectados.

En función a los resultados obtenidos, se han obtenido las siguientes correlaciones (con la temperatura T [=] Kelvin) para la determinación de los parámetros reológicos:

$$a = 3,63 \cdot 10^{-4} T^3 - 3,22 \cdot 10^{-1} T^2 + 94,5 T - 9,16 \cdot 10^{18} \quad (10)$$

$$b = -2,14 \cdot 10^{-7} T^4 + 2,55 \cdot 10^{-4} T^3 - 1,14 \cdot 10^{-1} T^2 + 22,6 T - 1,684 \cdot 10^{18} \quad (11)$$

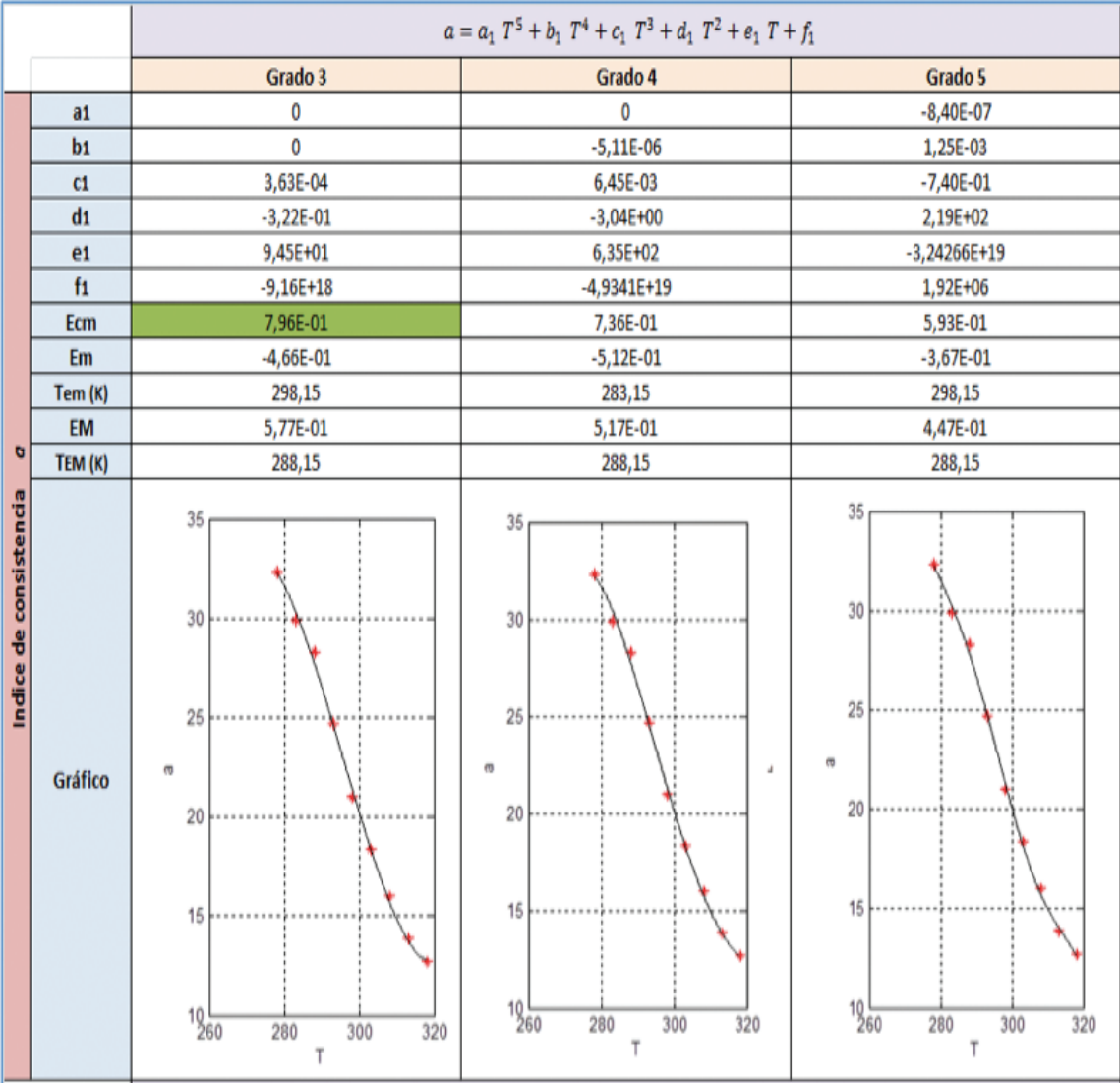


Fig. 2. Valores y curvas características para la determinación del parámetro a (índice de consistencia) del aderezo en un rango de 5 °C – 45 °C

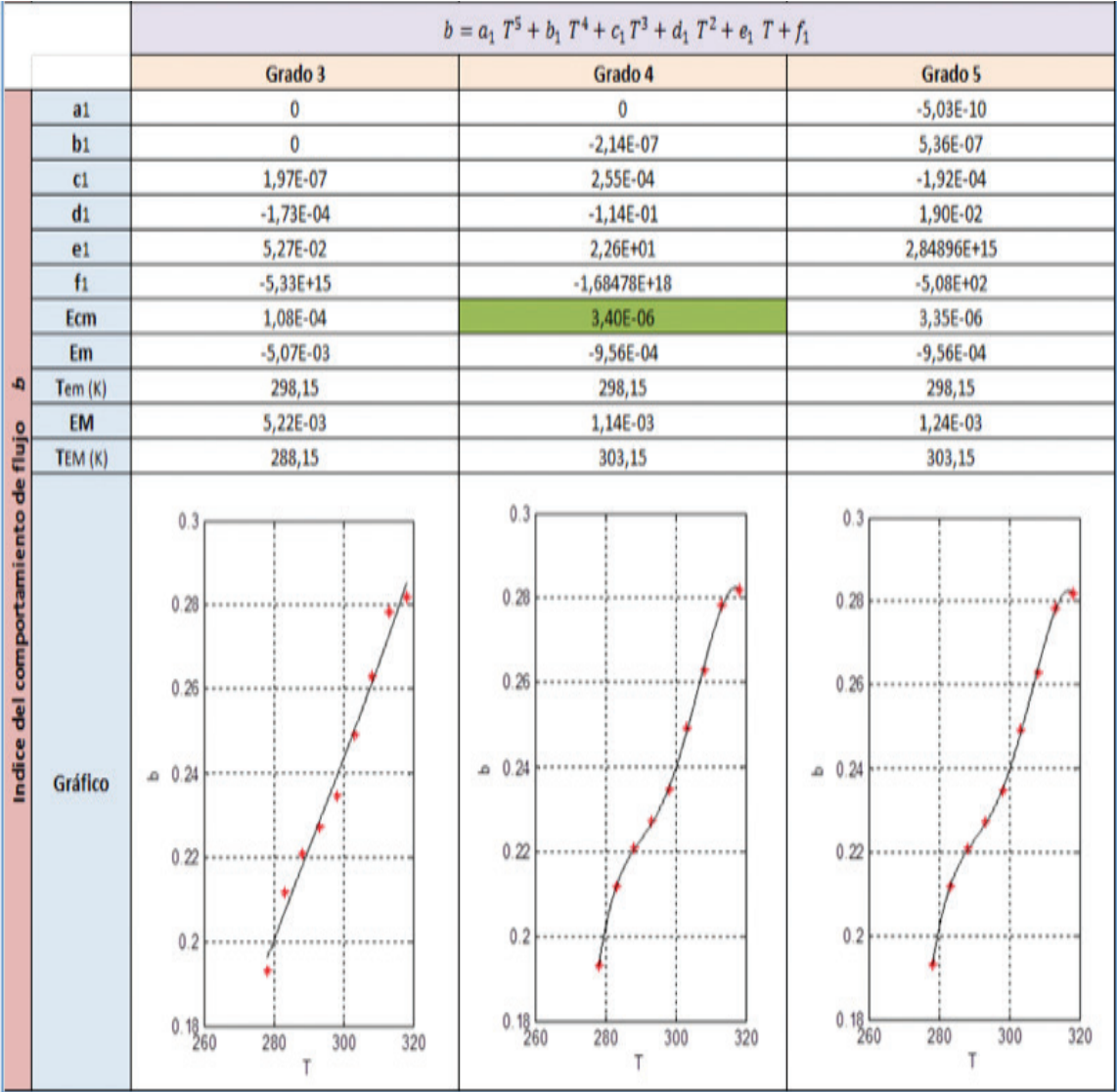


Fig. 3. Valores y curvas características para la determinación del parámetro b (índice del comportamiento del flujo) del aderezo en un rango de 5 °C – 45 °C

Conclusiones

A partir de las mediciones y mediante la utilización de regresión polinomial se ha obtenido un modelo para caracterizar la variación de los parámetros *a* y *b* con la temperatura. Para la elección de la correlación necesaria para la determinación del índice de consistencia *a*, se ha tenido en cuenta que si bien el mínimo error cuadrático medio se advierte en la correlación de grado 5, todos los errores poseen

el mismo orden, priorizando entonces que un polinomio de menor grado es de ejecución más sencilla. Asimismo, para la elección de la correlación necesaria para la determinación del índice del comportamiento *b*, se ha percibido que el polinomio de grado 4 satisface las dos condiciones señaladas para el caso anterior (de los dos polinomios que poseen el error cuadrático medio de menor orden, resulta el polinomio de grado inferior).

Referencias

- ZANGRANDO, A.; SANTANA, S.; DELLA ROCCA P. y BREIER R., (2009) Estudio reológico de bases para aderezos en ensaladas con distintos hidrocoloides en su formulación, <http://www.fcail.uncu.edu.ar/upload/28atc-zangrando.pdf>. pp. 1-7
- CAIRO, F.; WHELAN, M.R.; ZANGRANDO, A.; SANTANA, S.; ZAMORA, M.C. y BREIER, R., (2011) Desarrollo de un aderezo saludable para ensaladas: análisis del comportamiento reológico, <http://www.amidiq.com/memorias.htm> pp. 2729-2736
- WHELAN, M.R.; CAIRO, F.; ZANGRANDO, A.; HOVSEPIAN, J.; SANTANA, S.; ZAMORA, M.C. y BREIER R., (2011) Desarrollo de un aderezo saludable a base de aceite de canola: influencia de la viscosidad en la percepción del sabor y preferencias de los consumidores. *Proyecciones*, Vol 9 N° 1 pp. 55-61.
- MATEUCCI, R.; WHELAN, M.R.; ZANGRANDO, A.; SANTANA, S. y BREIER R., (2012) Determinación de vida útil de un aderezo saludable para ensaladas a través de indicadores microbiológicos, <https://sites.google.com/site/vidautildeunaderezosaludable/informacion>
- BORDA, M. de los A., (2011) Formulación de una base para aderezo de ensaladas con características de alimento funcional. Tesis de Maestría en Tecnología de los Alimentos. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.
- RAO, M.A. y PALOMINO, N.O, (1974) Flow properties of tropical fruit purees. *Journal of Food Science* v.39, n.1, p.160-161, 1974.
- GARCÍA ET AL. GARCIA, R.; RIVERA, J. & ROLZ, C. Rheological properties of some tropical fruit products and their enzyme clarification. *Proc. Iv Int. Congress Food Science And Technology*, II, p 18-26, 1974.
- OLIVEIRA, K. H.; SOUZA, J. A. RIBEIRO DE Y MONTEIRO, A. RODRIGUES, (2008) Caracterização reológica de sorbetes. *Food Science and Technology*, Campinas.

Caracterización tecnológica de morteros y hormigones con escombros de albañilería triturados y molidos. Parte II

Rubén A. López, Marcelo A. Masckauchan, Carlos A. Di Salvo, José L. Verga, Alfredo M. Graich

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Civil, Mozart 2300, (C1407IVT), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

lopezalberto49@hotmail.com

Recibido el 19 de diciembre de 2013, aprobado el 20 de febrero de 2014

Resumen

En este trabajo se analizan y fundamentan los resultados obtenidos en ensayos de morteros utilizando escombros de albañilería como agregado. Estos valores experimentales fueron ya publicados en Proyecciones, Año 11, N°1. Asimismo se presentan los resultados de ensayos realizados para la determinación de parámetros físico-mecánicos de hormigones con adición de escombros, siguiendo una metodología similar a la desarrollada en morteros, tal como se describió para aquellos. Se incluyen también diversas comparaciones y conclusiones. Estos desarrollos forman parte del proyecto de investigación denominado "Factibilidad técnica y económica en la reutilización de escombros de albañilería resultantes de la demolición y la construcción".

PALABRAS CLAVE: ESCOMBRO MOLIDO – REUTILIZACION – MORTEROS – HORMIGONES – RESISTENCIA

Abstract

In the present paper results obtained from testing of mortars containing rubbles of masonry are discussed and explained. These experimental values have been published in Proyecciones, Año 11, N°1. Results of test developed to characterize physical-mechanical parameters of concretes with masonry rubbles addition, are also shown. In the present case a similar methodology to the one for mortars is applied, as has been described in the said paper. Several comparisons and conclusions are enclosed. All these results belong to the research project "Technical and economic feasibility in the reutilization of resultants rubbles of masonry of demolition and construction".

KEYWORDS: GROUND RUBBLE – REUTILIZATION – MORTARS – CONCRETES – RESISTANCE

¹ Son también autores de este artículo: Silvio A. Bressan, Natalia Tojo, Nahuel Bonfante

Introducción

En la primera etapa del desarrollo del Proyecto de Investigación denominado "Factibilidad técnica y económica en la reutilización de escombros de albañilería resultantes de la demolición y construcción", se realizaron ensayos en los que se determinaron distintos parámetros que permitieron establecer las propiedades técnicas de morteros destinados a mezclas de asiento para mampostería y a revoques, reemplazando parte del agregado fino por escombros de albañilería molido (López et al., 2013).

Se obtuvieron parámetros físicos y mecánicos considerados significativos mediante los siguientes ensayos realizados en el Laboratorio de Ingeniería Civil:

- Ensayos para la caracterización de los materiales utilizados.
- Ensayos para la determinación de parámetros físicos y mecánicos de una mezcla de referencia y las mezclas con escombros molidos:
 - Ensayos a la compresión.
 - Ensayos a la flexión.

Se recuerda que los morteros que se ensayaron respondían a las especificaciones que figuran en la Tabla 1.

Los resultados mostraron un aumento considerable de la resistencia a la flexión y compresión en morteros en los que se reemplazó parte de la arena silíceas por escombros de albañilería molido, llegando en el caso del Mortero 3 (donde el agregado es mitad arena y mitad escombros molidos) a triplicar la resistencia a la compresión.

Se plantearon dos hipótesis para explicar este comportamiento: en primer lugar el aumento de la fracción de partículas que pasan el tamiz N° 200. Esto implica una reducción de los espacios vacíos y por lo tanto mayor compactación del mortero. En segunda instancia y en menor medida, por la aparición de cierta capacidad aglomerante adicional aportada por el carácter hidraulizante de la mezcla de cerámica finamente molida (proveniente del escombros) con el hidróxido de calcio (la cal hidráulica).

Determinación de la compactación en las muestras de morteros

A fin de conocer si los aumentos en las propiedades resistentes tenían una correlación con la posible mayor compactación (es decir reducción de vacíos intercomunicados), se realizaron ensayos de velocidad de tránsito de una onda ultrasónica, según la Norma Iram 1683 (1990) "Método para la determinación de la velocidad de pulsos ultrasónicos en hormigones de cemento portland y densidades de los materiales." Las determinaciones de ultrasonido se realizaron mediante un equipo NDT (*Non Destructive Testing System*) James Instruments Inc. UTN FRBA N° 59505, mientras que las determinaciones de densidad se llevaron a cabo mediante la metodología expuesta en la Norma Iram 1729 (1997) "Mortero de Mampostería, Determinación de la densidad aparente." Los valores obtenidos se registran en la Tabla 2.

Como se observa en ella, los ensayos de tiempo de tránsito de onda ultrasónica muestran valores crecientes, desde el obtenido para el Mortero (de referencia): 2118 m/s, pasando por un valor intermedio de 2161 m/s para el Mortero 2 (25% de material molido) y llegando a un valor máximo en el Mortero 3 (50% de material molido) de 2317 m/s, aproximadamente un 9,5% más que en el de referencia.

Por un lado se observa la reducción de densidad a medida que aumenta la proporción de escombros de albañilería molido como agregado, lo que se explica por la menor densidad del mismo respecto la arena silíceas, dado que las partículas cerámicas presentan huecos interiores. Sin embargo los valores de velocidades ultrasónicas obtenidos, muestran una tendencia al aumento de velocidad a medida que la mezcla contiene más escombros de albañilería, ella implica un aumento de compactación del mortero y por lo tanto una reducción de los espacios vacíos. Esto se puede explicar por la presencia de una fracción fina, que provee principalmente el polvo de ladrillo, dentro del escombros molido, cuyas partículas obturan los huecos de menor dimensión. Es decir, que los ensayos de ultrasonido confirmaban esta hipótesis planteada en la etapa anterior del proyecto.

	Mortero 1 (DE REFERENCIA)	Mortero 2	Mortero 3
Denominación	Mortero hidráulico reforzado (MHR)	Mortero hidráulico reforzado mixto (MHRM)	Mortero hidráulico reforzado mixto (MHRM)
Cal hidráulica	1	1	1
Cemento	1/4	1/4	1/4
Arena	4	3	2
Escombros de albañilería molido	-	1	2

Tabla 1. Relaciones en volumen

Parámetros	Mortero 1	Mortero 2	Mortero 3
Densidad absoluta (g/cm ³)	1,884	1,860	1,799
Tiempo pasaje de onda (microseg.) Probeta 1	75,39	74,03	69,07
Tiempo pasaje de onda (microseg.) Probeta 2	76,15	74,03	69,07
Tiempo pasaje de onda (microseg.) Probeta 3	75,12	74,03	69,07
Tiempo pasaje de onda (microseg.) Promedio sobre las 3 probetas	75,55	74,03	69,07
Velocidad de pulso ultrasónico (m/seg)	2118	2161	2317

Tabla 2. Valores de tiempo de tránsito de una onda ultrasónica y densidades de morteros

Morteros

Verificación de resultados obtenidos

Con relación a la publicación del año 2013 Revista Proyecciones, año 11, N°1, se decidió realizar nuevos ensayos de morteros, con objeto de extender la serie estadística y verificar los resultados anteriormente obtenidos. En este caso se efectuaron otras seis probetas para cada mortero con igual dosificación a la de las ya realizadas (presentada en la Tabla 1). Los pesos de agua de mezcla utilizados en cada uno de los tres casos se establecieron fijando como criterio el obtener pastas de igual consistencia, adoptando un valor de 10%, determinado según la norma IRAM 1570/1994 "Determinación de la consistencia por el método de escurrimiento".

Determinación de la resistencia a la compresión

Se moldearon 6 probetas prismáticas de cada mortero siguiendo los lineamientos de la Norma IRAM 1622/2006. De cada mortero se ensayaron 6 probetas de cada uno, a los 14 y 28 días de edad. Cabe aclarar que cada probeta permite realizar un ensayo de flexión y a partir del mismo dos ensayos de compresión.

En esta oportunidad se utilizó un marco de carga marca OMNIA con digitalización y visualización en pantalla de la carga aplicada y de las consiguientes deformaciones obtenidas. Esta modernización del equipamiento permite apreciar en forma más clara los resultados respecto a los ensayos realizados en la primera etapa.



En la fotografía N°1 se visualiza el equipamiento y en la Fig.1 se muestran los resultados de un ensayo a flexión.

Informe de ensayo

Número: M1- 6- 14 d (21-11-13) Observaciones: PID C 127

Fecha: 21/11/13 Hora: 18:07:10

Responsable: Ing. Rubén López

Sección inicial [mm]: 1600,0

Espesor inicial [mm]: 40

Ancho inicial [mm]: 40

Fluencia [kg]: 10,60 T. Fluencia [MPa]: 0,1

Carga máxima [kg]: 48,10

Tensión máxima [MPa]: 0,2

Resistencia flexión [kg/cm²]: 0,00

Distancia entre apoyos [mm]: 100

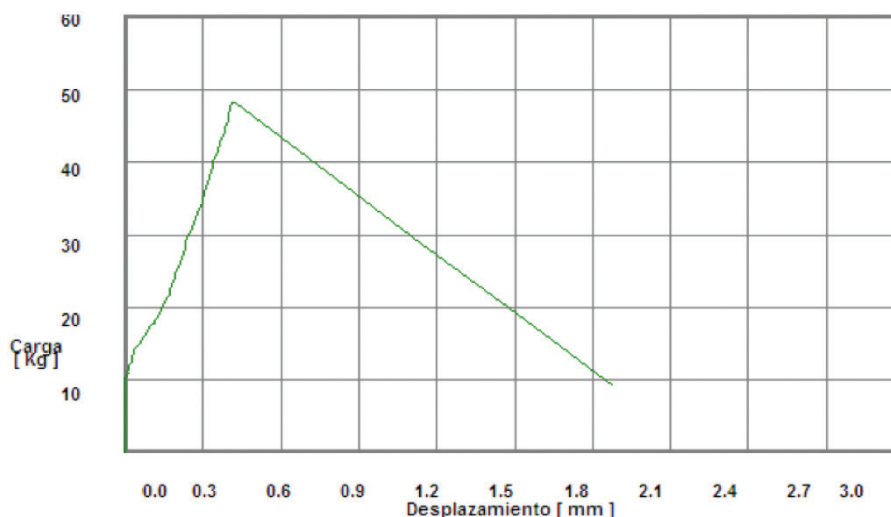


Fig 1. Ensayo de flexión con medición de desplazamientos

Edad del mortero	7 días	14 días	28 días
Mortero 1	No se realizaron	1,64	1,76
Mortero 2	No se realizaron	2,39	2,40
Mortero 3	No se realizaron	4,25	5,85

Tabla 3. Resistencia promedio a la compresión en MPa

Los resultados promedio de resistencia a la compresión de cada tanda se indican en la Tabla 3.

Como se puede observar los resultados nuevamente expresan un considerable aumento de resistencia a medida que se aumenta la fracción de escombros de albañilería molido. Por lo tanto se confirman los resultados obtenidos en la primera etapa de este proyecto.

Hormigones

Caracterización de los materiales utilizados en las mezclas a ensayar

Con el propósito de determinar el desempeño de hormigones para albañilería (es decir hormigones para contrapisos y rellenos no estructurales) se propuso trabajar en forma similar a lo ya planteado para el caso de los morteros, con tres mezclas diferentes. El Hormigón 1 o de referencia, utiliza como ligante cal hidráulica con la incorporación de una pequeña proporción de cemento Portland para aumentar su capacidad

de desarrollo y de resistencia mecánica, como agregado grueso, escombros de albañilería reducido a cascotes y como agregado fino, arena silíceo del río Paraná. Es decir, que se trata de un hormigón típico para contrapisos.

Los otros hormigones tienen los mismos ligantes y agregado grueso, repitiendo también las proporciones. En cambio, se variaron las características del agregado fino: en el Hormigón 2 se reemplaza $\frac{1}{4}$ en volumen de la arena silíceo por escombros de albañilería molido, mientras que en el Hormigón 3 el reemplazo propuesto es de $\frac{1}{2}$ en volumen del árido fino original.

Se visualiza la composición de las tres mezclas propuestas en volumen en la Tabla 4.

Se elaboraron 4 probetas para cada tipo de hormigón (1, 2 y 3). En este caso, para la determinación de la proporción de agua se adoptó como parámetro el asentamiento de la mezcla fresca con el cono de Abrams (ver Fotografía N° 2), fijando un asentamiento de 5 cm (+ 0,5 cm).



Fotografía N° 2: Cono de Abrams

	Hormigón 1	Hormigón 2	Hormigón 3
Denominación	Hormigón hidráulico reforzado pobre (HHRP)	Hormigón hidráulico reforzado pobre mixto (HHRPM)	Hormigón hidráulico reforzado pobre mixto (HHRPM)
Cal hidráulica	1	1	1
Cemento	1/4	1/4	1/4
Arena	3	2 1/4	1 1/2
Escombro de albañilería molido	--	3/4	1/2
Escombro de albañilería (cascote)	3	3	3
Agua	16,6%	16,76%	17,14 %

Tabla 4. Relaciones en volumen

Probeta	Edad: 28 días
Hormigón 1	1,125
Hormigón 2	1,620
Hormigón 3	1,575

Tabla 5. Resistencia promedio a la compresión (en MPa)

Con las mezclas así obtenidas se conformaron probetas cilíndricas y posteriormente se efectuaron los ensayos a la compresión de las mismas a los 28 días. Estos ensayos se realizaron según los lineamientos de la Norma IRAM 1546, "Hormigón de cemento Portland. Método de ensayo de compresión." e IRAM 1709 "Hormigón. Método para el uso de encabezado con placas de elastómero en la determinación de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas." En la Tabla 5 se presenta el resultado de las resistencias a la compresión promedio (de las cuatro probetas).

En este caso se manifiesta también un aumento de la resistencia respecto de la mezcla de referencia (Hormigón 1) en los hormigones donde se reemplaza parte de la arena silícea por escombro de albañilería molido, del 44% en el caso del Hormigón 2 y del 40% para el Hormigón 3. A diferencia del caso de los morteros, la mayor proporción de escombro de albañilería molido (caso del Hormigón 3) no produce un cambio significativo. Incluso resultó, al menos en este caso, una pequeña reducción de resistencia, aunque no relevante pues la diferencia en la resistencia a la compresión entre los dos hormigones con escombro de albañilería molido es apenas del 2,8 %. Podría pensarse que en este caso la aparición de la fracción fina nuevamente genera una mayor compacidad pero que su aumento no modifica sustancial-

mente la situación en una distribución granulométrica donde la presencia de agregado grueso (cascote) genera la presencia de espacios vacíos de mayores dimensiones que en los morteros y que no pueden ser ocupados por dicha fracción fina.

Protocolo de procedimientos básicos para la separación de escombros de albañilería en obra

Aceptando que los morteros y hormigones para albañilería obtenidos reemplazando parcialmente el agregado fino de arena silícea por escombro de albañilería molido son, como mínimo, tan aptos técnicamente como el material sin dicho reemplazo, el siguiente paso que se propone el Proyecto de Investigación es tratar de determinar los posibles beneficios económicos y ambientales del reciclado de este material (Bressan et al., 2008).

Los residuos de construcción y demolición conforman un impacto significativo en las obras de la industria de la construcción en función de su magnitud y heterogeneidad (Municipalidad de Rosario, 2009). Dado que ya son poco viables los lugares de disposición final, el Proyecto plantea efectuar su análisis considerando el reciclado del material en la misma obra en que se genera. Dicha generación es producto de la demolición de construcciones preexistentes en el

predio y de los restos que se producen durante la construcción, ya sea por excedentes de material al producirlo o al aplicarlo (por ejemplo, en revoques), o por demoliciones producto de los procesos constructivos (por ejemplo, canalizaciones para instalaciones) o de modificaciones que se efectúan durante la ejecución de los trabajos.

Un primer paso que debe efectuarse es generar un programa de Gestión de Residuos de la Construcción y Demolición, a aplicarse en las obras. El principio a seguir debería ser: Minimizar la generación, Reuso de los materiales y Reciclar. Este principio es posible si se realiza una separación y recolección selectiva considerando las siguientes ventajas:

- Mediante la separación y recolección selectiva se reduce el volumen aparente de los residuos generados al disminuir los espacios huecos del contenedor.
- Se coadyuva al orden y gestión de obra.
- La Gestión de Residuos solo es posible con una separación y recolección selectiva de residuos.

Técnicamente es imposible reciclar residuos mezclados, pues tienen propiedades físicas y químicas diferentes, e incluso puede verse afectada la maquinaria empleada en el proceso de valorización.

Se puede concluir entonces, que la gestión de los residuos en la obra debe empezar por su separación selectiva. Para ello una clasificación básica sería separar según:

- Residuos inertes. Escombro limpio: ladrillos, ladrillo con mortero sin yeso, tejas, baldosas rajadas con o sin mortero, hormigón fraguado, mortero fraguado.
- Residuos no peligrosos. Metales, maderas sin tratar, papel, cartón, plásticos, vidrios, yesos.
- Residuos peligrosos. Aceites, desencofrantes, adhesivos sintéticos, asfaltos, pinturas y barnices, maderas tratadas, asbestos, siliconas, decapantes, diluyentes, materiales de aislamiento térmico, metales pesados, entre otros.

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados se puede pasar a proponer una serie de procedimientos básicos que podrían conformar un

protocolo de tratamiento de estos residuos en obra con objeto del aprovechamiento y reciclado del escombro de albañilería apto y la correcta disposición final del resto:

1. Demolición selectiva de obra.
2. Capacitación de personal para proceder a la separación selectiva.
3. Disposición de la maquinaria necesaria para el movimiento, acopio, retire y/ o posterior reuso y trituración o molienda de materiales.
4. Disposición de espacios para el almacenamiento de los materiales dentro de la obra.
5. Disposición de espacios para maquinaria de molienda de Residuos Inertes.
6. Ubicación de contenedores convenientemente identificados por tipología, teniendo en cuenta que para los inertes no es necesario un contenedor para el acopio.
7. Separación de residuos según la clasificación en Inertes, No peligrosos y Peligrosos.
8. Proceder al acopio selectivo de cada tipología.
9. Supervisión de los residuos que se generan para cuantificar los mismos.
10. Proceder al retiro de la obra de los residuos previamente separados en no peligrosos y peligrosos.
11. Proceder a la trituración de los Residuos Inertes.
12. Separación y clasificación básica de granulometría (fino y grueso) a través del uso de zarandas.
13. Supervisión de resultados.
14. Acopiar el material molido resultante, separado de acuerdo a su granulometría.
15. Reutilización de materiales inertes de acuerdo a la dosificación establecida.

Conclusiones

De las investigaciones realizadas se puede concluir que:

- Los nuevos ensayos de morteros ratifican el aumento de resistencia a la flexión y a la compresión del material obtenido utilizando escombros de albañilería molido como agregado fino, reemplazando parcialmente a la arena silícea.
- La presencia de una fracción fina (pasa el tamiz N° 200) que introduce el escombros de albañilería molido aumenta la compacidad (es decir la reducción de vacíos) del material, la que justificaría su aumento de resistencia.
- En el caso de hormigones no estructurales para relleno, el aumento de resistencia también se verifica y es importante (alrededor de un 40 %), aunque una mayor proporción de

reemplazo de arena por el escombros de albañilería molido no produce en este caso cambios significativos.

- Se puede considerar que el material obtenido, tanto en el caso de morteros como en el de hormigones, es técnicamente apto pues en todos los casos, a igual consistencia, mejora los valores de resistencia. La presencia de material cerámico haría pensar que al menos se mantiene la capacidad de aislación térmica, aunque este aspecto escapa al objeto de estudio de este Proyecto.

Estas consideraciones permiten pasar a la última etapa del Proyecto de Investigación a efectos de establecer los beneficios económicos y ambientales que se podrían lograr con el reciclado de escombros de albañilería en obra, a través de su separación, molienda y uso como fracción fina en morteros y hormigones para trabajos de albañilería.

Referencias

- BRESSAN, S. et al, 2008, "Investigaciones ambientales en el Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Buenos Aires: su potencialidad pedagógica y formativa." Revista Proyecciones - Publicación de Posgrado e Investigación de la Facultad Regional Buenos Aires, UTN, Vol. 6, No 1. pp. 43-51.
- LOPEZ, A. R. et al., 2013, "Caracterización tecnológica de morteros escombros de albañilería molido. Proyecciones, - Publicación de Posgrado e Investigación de la Facultad Regional Buenos Aires, UTN- Vol. 11, N° 1. pp. 91-99.
- MUNICIPALIDAD DE ROSARIO, 2009, "Buenas prácticas ambientales en la construcción", www.cimpar.org.ar
- NORMA IRAM 1622, 2006, "Cemento Portland. Métodos para la determinación de la velocidad de pulsos ultrasónicos." 17 pp. Buenos Aires.
- NORMA IRAM 1683, 1990, "Hormigón de Cemento Portland. Métodos de laboratorio de determinación de las resistencias a la compresión y a la flexión." 25 pp. Buenos Aires.
- NORMA IRAM 1570, 1994, "Morteros para mampostería. Determinación de la consistencia. Método de escurrimiento." 6 pp. Buenos Aires.
- NORMA IRAM 1729, 1997, "Morteros para mampostería. Mortero fresco. Determinación de la densidad aparente." 11pp. Buenos Aires.
- NORMA IRAM 1546, 1992, "Hormigón de Cemento Portland. Método de ensayo de compresión." 12 pp. Buenos Aires.
- NORMA IRAM 1709, 2002, "Hormigón. Método para el uso de encabezado con placas de elastómero en la determinación de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas." 13 pp. Buenos Aires.

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 existen) y Referencias. Cada uno de ellos tendrá categoría de título y deberá ser presentado en forma equivalente al título original del trabajo, en negrita y centrado, mientras que los subtítulos se consignarán en el margen izquierdo y en negrita. Ninguno de estos ítems deberá ser numerado. La extensión del trabajo no podrá ser mayor que 20 páginas.

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

Sólo se aceptarán trabajos realizados íntegramente en Microsoft Word.

Tablas y Figuras

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

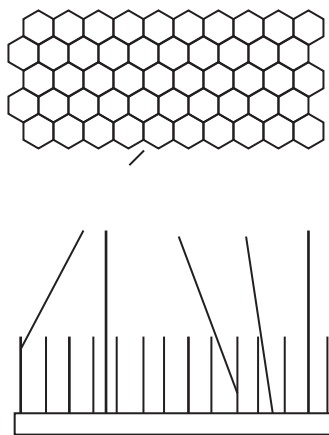


Fig. 1. Ejemplo de ubicación de la figura y su leyenda explicativa (centrada, en negrita y fuente 10)

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

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

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

Agradecimientos

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

Referencias

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

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

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

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

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

Mecanismos de Aceptación y Normativa General

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

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

Autorización y Declaración jurada para la publicación de un artículo

1. Identificación del trabajo:

Título: _____

Área de conocimiento: _____

Nº de páginas del trabajo: _____

Fecha de envío del archivo y del soporte magnético: / /

2. Identificación del autor/a:

Nombre y Apellido del Autor/a: _____

Tipo y Nº de documento: _____

Domicilio: _____

3. Identificación Institucional:

Universidad y/o organismo: _____

Dependencia / departamento: _____

Domicilio: _____

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

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

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

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

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

Nombre y Apellido

Firma

DNI/ LC /LE /Pasaporte

Doctorado, Maestrías y Carreras de Especialización

Doctorado en Ingeniería

Mención en Procesamiento de Señales e Imágenes

Doctorado en Ingeniería

Mención en Tecnologías Químicas

Maestría en Administración de Negocios

Maestría en Docencia Universitaria

Maestría en Ingeniería Ambiental

Maestría en Ingeniería en Calidad

Maestría en Ingeniería en Sistemas de Información

Maestría en Tecnología de los Alimentos

Maestría en Procesos Biotecnológicos

Maestría en Ingeniería Estructural

Maestría en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana

Especialización en Docencia Universitaria

Especialización en Ergonomía

Especialización en Higiene y Seguridad en el Trabajo

Especialización en Ingeniería Ambiental

Especialización en Ingeniería en Calidad

Especialización en Ingeniería en Sistemas de Información

Especialización en Ingeniería Gerencial

Especialización en Tecnología de los Alimentos

Especialización en Ingeniería en Telecomunicaciones

Carreras de Grado

Ingeniería Civil

Ingeniería Eléctrica

Ingeniería Electrónica

Ingeniería Industrial

Ingeniería Mecánica

Ingeniería Naval

Ingeniería en Sistemas de la Información

Ingeniería Química

Ingeniería Textil

Ciclos de Licenciatura

Licenciatura en Ciencias Aplicadas

Licenciatura en Tecnología Educativa

Licenciatura en Gestión de la Producción Gráfica

**Proyecciones se terminó de imprimir en los talleres ARSA Gráfica
San Martín 476, Bahía Blanca, Buenos Aires
Octubre 2014**

