

Proyecciones

Volumen 9
Número 2
Octubre, 2011

Publicación de la Facultad Regional Buenos Aires

Rector

Ing. Héctor C. Brotto

Vice - Rector

Ing. Carlos E. Fantini

Decano

Ing. Guillermo Oliveto

Director

Lic. Juan Miguel Languasco, Facultad Regional Buenos Aires

Comité Editorial

Lic. Gladys Esperanza, Facultad Regional Buenos Aires

Mg. Fernando Gache, Facultad Regional Buenos Aires

ISSN 1667-8400
(Versión impresa)

Diseño y Diagramación

Marcela Laura Ferritto, Facultad Regional Buenos Aires

ISSN 1853-6352
(Versión en línea)

Propietario

Registro de la
Propiedad
Intelectual
No. 886021

Facultad Regional Buenos Aires

Medrano 951 (C1179AAQ)

Buenos Aires, República Argentina

(Versión impresa)

Registro de la
Propiedad
Intelectual
No. 962251
(Versión en línea)

 **Universidad Tecnológica Nacional**

Proyecciones

Volumen 9

Número 2

Octubre, 2011

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.

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**
- 11 Deshidratación de papas por métodos combinados de secado: deshidratación osmótica, secado por microondas y convección con aire caliente**
Patricia Della Rocca, Rodolfo Mascheroni
- 27 Flujos magnetohidrodinámicos axisimétricos con conductividad finita. Parte I. Geometría esférica.**
Néstor O. Rotstein
- 41 Prácticas de ordenamiento urbano-territorial desde el urbanismo alternativo; relevancia para la formación del Ingeniero Civil**
José Luis Verga, Alicia Irene Bugallo
- 53 Aprovechamiento de la Energía Undimotriz**
Mario Pelissero, Pablo A. Haim, Guillermo Oliveto, Francisco Galia y Roberto Tula
- 67 Dispositivo electrónico de ayuda para personas hipocúscas**
José Manuel Gallardo

Editorial

Mucho ha sido el esfuerzo que, durante estos dos años, realizó nuestra Facultad para consolidar las ingenierías que se dictan en nuestra casa, y para avanzar en mejores investigaciones, mejores vinculaciones tecnológicas, y más y mejores innovaciones por parte de nuestro entorno social y productivo. Con satisfacción podemos decir, también, que este esfuerzo colectivo está teniendo el premio de sus muy buenos resultados, reconocidos dentro y fuera de nuestra Universidad.

Sin embargo, no nos damos por satisfechos, ya que consideramos que son muchas las oportunidades que tenemos para desarrollar y aprovechar. Recurriendo a un escrito que nos inspira –aquel Manifiesto Liminar de la reforma universitaria de 1918– podemos sostener: los retrasos que nos quedan son los avances científicos y tecnológicos que nos faltan.

Para nosotros, parte de esa deseada prosperidad implica la mejor comunicación de los avances del conocimiento, y en ello juega un papel protagónico nuestra revista “Proyecciones”, que con este número finaliza su noveno año consecutivo, y avizora un incremento de su importancia y su calidad.

Me gustaría aprovechar la oportunidad que me presenta esta nota editorial para reconocer el esfuerzo que realizan los investigadores, tecnólogos, docentes, personal técnico y administrativo, y funcionarios, ya que son quienes ponen, todos los días, cada uno de los ladrillos que hacen falta para construir la gran obra que queremos realizar desde la FRBA.

Y quisiera felicitar y agradecer a los autores de los artículos por haber pasado la instancia evaluatoria y por publicar en nuestra revista.

ING. GUILLERMO OLIVETO
Decano

Presentación

Estamos en la etapa final de este año 2011, y apreciamos con satisfacción los avances que hemos realizado desde la Facultad para contribuir a tener un futuro mejor para nuestro país. Desde la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la FRBA hemos procurado aportar a ese gran objetivo, mediante la implementación de políticas que apunten a consolidar las actividades de ciencia, tecnología e innovación, y a desplegar nuevas iniciativas para ampliar las posibilidades de esas políticas.

Uno de los pilares centrales de estas políticas es la revista “Proyecciones”. Un elemento que viene consolidándose firmemente, y que luego de nueve años de trayectoria, y a través de cada nuevo número, amplía sus horizontes y acrecienta su prestigio.

El presente número, el segundo de este año 2011, comienza con un estudio en el que los aspectos experimentales de la investigación fueron realizados en los laboratorios de Ingeniería Química de la FRBA. En los mismos se aplicaron diversas tecnologías de secado de alimentos: la combinación de métodos usando microondas y convección de aire caliente, precedidos por una etapa de deshidratación osmótica. A continuación se aplicaron diferentes modelos matemáticos a los datos experimentales a fin de representar los datos cinéticos obtenidos durante el secado. Este artículo se denomina “Deshidratación de papas por métodos combinados de secado: deshidratación osmótica, secado por microondas y convección con aire caliente”, sus autores son P. Della Rocca y R. Mascheroni y se trata de un trabajo basado en una tesis presentada en el nivel cuaternario de esta Facultad, para su Maestría en Tecnología de los Alimentos.

A continuación se incluye “Flujos magnetohidrodinámicos axisimétricos con conductividad finita. I. Geometría esférica”. Su autor, Néstor Rotstein, describe con rigor las ecuaciones matemáticas aplicadas al comportamiento del plasma, suponiendo no nula su resistividad, para una geometría dada. Se propone mostrar que, en este modelo, las isosuperficies de flujo másico no son coincidentes con las isosuperficies de flujo magnético. Se presentan las líneas de campo magnético para distintas situaciones.

Se ha incorporado un estudio relacionado con la asignatura Diseño Arquitectónico, Planeamiento y Urbanismo II, del quinto nivel curricular en la carrera de Ingeniería Civil. El aporte se denomina “Prácticas de ordenamiento urbano-territorial desde el urbanismo alternativo; relevancia para la formación del Ingeniero Civil”. Sus autores son J. L. Verga y A. I. Bugallo y está basado en un trabajo que muestra algunas aproximaciones a la perspectiva

socio-ambiental. A partir del trabajo teórico y práctico, los estudiantes encararon las diferentes dimensiones de una hipotética “aldea abierta”, considerando, entre otras, la evaluación de impacto ambiental y de impacto territorial, criterios de urbanismo y la integración en los casos de maronitas, mapuches y rastafaris.

Le sigue el trabajo realizado por M. Pelissero, P. Haim, G. Oliveto, F. Galia y R. Tula que recoge, en parte, las conclusiones obtenidas en un proyecto de investigación que se realiza en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la FRBA y que se propone presentar una fuente no tradicional, renovable y limpia de energía. Este estudio, de naturaleza multidisciplinaria, se enfoca en la generación de energía en el océano a partir de las ondas marinas. De allí que los autores se hayan propuesto: a) resumir los antecedentes internacionales en el área; b) estimar mediante ecuaciones la energía potencialmente recuperable a partir de las ondas en la costa marina argentina y c) describir un mecanismo electromecánico capaz de transformar la energía undimotriz en energía eléctrica. El nombre del artículo es “Aprovechamiento de la Energía undimotriz”.

Finalmente se presenta el artículo llamado “Dispositivo electrónico de ayuda a personas hipoacúsicas” preparado por J. Gallardo. En él se describe un dispositivo de bajo costo, destinado a personas con disminución auditiva que puede ayudarlas a evitar los inconvenientes que se originan cuando emplean audífonos o implantes y se encuentran en ambientes ruidosos. El dispositivo mejora la inteligibilidad de la palabra y contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de sus usuarios.

Al principio de esta presentación hacíamos referencia a los avances realizados en nuestra Facultad en materia de ciencia, tecnología e innovación productiva. Ello es posible, principalmente, por los investigadores, los estudiantes, los graduados y los especialistas involucrados en las actividades de investigación y en el diseño e implementación de las políticas de ciencia y tecnología, y las distintas iniciativas que apuntan a desplegarlas. Vaya nuestro reconocimiento y agradecimiento, en este caso, a los autores de estos artículos.

LIC. AGUSTÍN CAMPERO
Secretario de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

Deshidratación de papas por métodos combinados de secado: deshidratación osmótica, secado por microondas y convección con aire caliente¹

Patricia Della Rocca¹, Rodolfo Mascheroni²

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Química, Medrano 951 (C1799AAQ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

² CIDCA (Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos) (CCT La Plata - CONICET y UNLP). 47 y 116, 1900 La Plata, Argentina, y MODIAL Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería, La Plata, Argentina

patriciadellarocca@hotmail.com

Recibido el 11 de Julio de 2011, aprobado el 1º de Agosto de 2011

Resumen

El presente trabajo se enfocó en el estudio y análisis de las variables que afectan el secado de un producto hortícola como la papa, que se destinará a la elaboración de guisos. En primer lugar, el secado se llevó a cabo mediante la deshidratación osmótica y luego a través del secado combinado (microondas y convección con aire caliente). Se aplicaron diferentes modelos matemáticos a los datos experimentales a fin de representar los datos cinéticos obtenidos durante el proceso de secado.

PALABRAS CLAVE: DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA - SECADO COMBINADO DE PAPAS - SECADO DE FRUTIHORTÍCOLAS - MICROONDAS Y CONVECCIÓN CON AIRE CALIENTE - ALIMENTOS MÍNIMAMENTE PROCESADOS

Abstract

The present work is focused on the study and analysis of the drying of a horticultural product, the potato, which will be used for the preparation of stew. Firstly, the drying is carried out by osmotic dehydration and then, by a combined drying (microwave and convection with hot air). Different mathematical models were applied to the experimental data in order to represent the kinetics data obtained during the drying process.

KEYWORDS: OSMOTIC DEHYDRATION - POTATOES COMBINED DRY - MICROWAVE AND CONVECTION WITH HOT AIR - MINIMUM PROCESSED FOOD

¹ El presente artículo forma parte del trabajo de tesis de P. Della Rocca para optar al grado de Magister en Tecnología de los Alimentos, bajo la dirección del Dr. R. H. Mascheroni

Introducción

Teniendo en cuenta los hábitos actuales de consumo de alimentos mínimamente procesados, en este trabajo se realizó el secado combinado (SC) por microondas y convección con aire caliente de papas pretratadas por deshidratación osmótica (DO), que se conservaron en atmósfera modificada (30 % de CO₂ y 70 % de N₂) y refrigeración a 4°C. Las mismas requieren para su consumo una posterior rehidratación y cocción en un tiempo mínimo con agua en ebullición. Este tiempo se estimó en 5-6 min aproximadamente, luego de ensayos de laboratorio y sensoriales.

La deshidratación osmótica (DO) es una técnica de deshidratación parcial de alimentos que consiste en la inmersión de los mismos en soluciones acuosas de solutos (azúcares y/o sales) de alta presión osmótica. La fuerza impulsora requerida para el flujo del agua es la diferencia de potencial químico entre la disolución y el fluido intracelular. Si la membrana celular es perfectamente semipermeable, el soluto es incapaz de difundir hacia el interior de las células. Sin embargo, en los alimentos es difícil tener membranas perfectamente semipermeables, debido a su compleja estructura interna, y entonces, siempre se produce alguna difusión del soluto al alimento, y viceversa, una lixiviación de los componentes del alimento hacia la solución. Por consiguiente, el fenómeno presenta dos procesos simultáneos en contracorriente: el movimiento de agua desde el alimento hacia la solución hipertónica, en el que se pueden arrastrar algunos componentes disueltos del alimento junto con el agua extraída y por otro lado, la impregnación del alimento con los solutos que provienen de la solución.

El proceso de deshidratación osmótica se caracteriza por presentar dos etapas: una dinámica y otra de equilibrio. En la etapa dinámica las velocidades de transferencia de materia disminuyen hasta que se llega al equilibrio. El proceso osmótico termina cuando se alcanza este equilibrio, es decir, cuando la velocidad neta de transporte de materia se anula. El agua se elimina principalmente por difusión y flujo capilar, mientras que la impregnación del alimento con los solutos y la lixiviación de los componentes del alimento se producen solamente por difusión.

El uso de la deshidratación osmótica en la industria alimenticia como pretratamiento mejora la calidad del producto en términos de color, flavour y textura con un mínimo requerimiento energético ya que se realiza a bajas temperaturas. Se aplica como etapa previa de muchos procesos para mejorar las propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales del alimento sin modificar su integridad (Torreggiani, 1993). Generalmente precede a procesos como la congelación (Ponting, 1973, Ramallo y Mascheroni, 2010, Bianchi y col., 2009), liofilización (Hawkes y Flink, 1978), secado al vacío (Dixon y Jen, 1977) o secado por aire caliente (Nanjundaswamy y col., 1978).

La ventaja de la tecnología de secado combinado, microondas y convección con aire caliente, luego del pretratamiento con deshidratación osmótica radica en las superiores velocidades de secado alcanzadas preservando las propiedades organolépticas del producto, cuando se lo compara con el secado convectivo con aire caliente o microondas solamente.

Los objetivos del presente trabajo fueron:

Generales

El estudio de las cinéticas de deshidratación osmótica y secado combinado: microondas y convección con aire caliente de las papas.

Específicos

1. Las determinación de las condiciones más favorables para la deshidratación osmótica de las papas. Se procuró obtener la mayor pérdida de agua del producto (cubos de papas) preservando las características sensoriales adecuadas del mismo (color, sabor, aroma y textura). Para ello se trabajó variando la concentración de sacarosa en 10%, 20%, 30%, 40% y 50% m/m y la concentración de sal en 5%, 10% y 20% m/m. La relación masa de solución a masa de papa se varió entre 1,6, 4 y 10. Se analizó también cómo influye la modificación de la temperatura (30 y 40 °C) y el tamaño de los cubos (0,6; 1 y 1,2 cm de lado) en la deshidratación osmótica.

2. Una vez obtenidas las condiciones más favorables, se reemplazó la sacarosa por xilitol, usando la misma concentración hallada en

la búsqueda de las condiciones de operación empleando sacarosa. El uso de xilitol fue con el propósito de no aumentar el contenido calórico del producto.

3. En la etapa siguiente se llevó a cabo el secado combinado de las papas luego del pretratamiento con deshidratación osmótica en solución acuosa de xilitol y sal. Se desarrollaron las actividades que se enuncian a continuación:

- a) Análisis de la concentración más adecuada de sal que enmascare el dulzor del xilitol.
- b) Evaluación del tiempo de deshidratación osmótica para alcanzar una pérdida de agua adecuada antes del secado combinado (por microondas y convección con aire caliente simultáneamente).
- c) Elección de la potencia en el secado combinado y del tiempo de tratamiento, que resultan en una mejora en la calidad del producto final obtenido, considerando las características sensoriales (color, aroma y sabor) y de rehidratabilidad.

4. Modelado de la deshidratación osmótica por medio de modelos basados en la solución analítica de la segunda Ley de Fick aplicados sobre los datos experimentales y determinación de los coeficientes de difusión. Los valores obtenidos se contrastaron con los encontrados en la literatura y con los obtenidos considerando una cinética de secado de primer orden.

5. Modelado de la deshidratación osmótica por métodos empíricos que correlacionan directamente la pérdida de agua y la ganancia de sólidos con algunas variables representativas del proceso como puede ser el tiempo mediante ecuaciones muy simples (Peleg, Azuara, Hawkes y Flink, cinética de primer orden, modelo polinomial y Raoult-Wack). Los parámetros obtenidos dependen de las condiciones de operación: concentración de solutos en la solución, la temperatura, el nivel de agitación, el tamaño del producto, etc.

6. Modelado del secado por microondas. Se ajustaron las curvas de secado con distintos modelos matemáticos: lineal, exponencial, potencial, logarítmico y polinómicos de diferentes grados.

7. Evaluación de los índices de calidad del producto (sabor y rehidratabilidad) luego del se-

cado combinado en busca de condiciones óptimas para el proceso combinado.

8. Envasado en atmósfera modificada (30% de CO₂ y 70% de N₂) y determinación de su tiempo de vida útil luego del análisis de los resultados microbiológicos del producto.

9. Estudio de las estructuras de las papas a diferentes tiempos de tratamientos durante la deshidratación osmótica, el secado por microondas y el secado combinado a través de microscopía electrónica de barrido ambiental.

Parte Experimental

Materiales

Se trabajó con papas (nombre científico: **Solanum tuberosum**) variedad Spunta. Para llevar a cabo las experiencias se seleccionaron papas de tamaño similar. Los agentes deshidratantes utilizados para elaborar las diferentes soluciones acuosas empleadas en las distintas experiencias fueron: sacarosa comercial, marca Ledesma, xilitol calidad alimenticia, marca Huakang Pharma, y sal fina comercial (cloruro de sodio), marca Dos Anclas.

Métodos

En una etapa inicial se realizó la búsqueda de las condiciones de operación para la deshidratación osmótica. Se trabajó con papas, que se pelaron y cortaron manualmente en cubos de 0,6, 1 y 1,2 cm de lado. Para la pesada se utilizó una balanza granataria, marca Mettler, modelo P1210.

Para los ensayos de deshidratación osmótica se prepararon soluciones con mezclas de sacarosa y sal como solutos y agua como solvente. Se trabajó variando la concentración de sacarosa en 10%, 20%, 30%, 40% y 50% m/m y la concentración de sal en 5%, 10% y 20% m/m. La relación masa de solución a masa de papa se varió entre 1,6; 4 y 10. Se analizó cómo influía en la deshidratación osmótica la modificación de la temperatura (30 y 40 ± 0.5 °C) y el tamaño de los cubos (0,6; 1 y 1,2 cm de lado). Se realizó la búsqueda de los valores de estas variables, condiciones de operación, para un mismo nivel de agitación 120-130 rpm, que permiten alcanzar una adecuada pérdida de agua analizando y comparando las curvas

de deshidratación. Se estudiaron las variables que afectaban más la pérdida de peso como: el tiempo, la concentración de sacarosa y la concentración de sal a través de la optimización con superficies de respuesta. Las superficies de respuesta se obtuvieron con el programa Statistica, versión 7. Se consideró como criterio de ajuste de la superficie de respuesta a los datos experimentales, el error medio, ERM:

$$ERM = \sum_{i=1}^N \left| \frac{V_{\text{exp}_i} - V_{\text{pre}_i}}{V_{\text{exp}_i}} \right| \frac{1}{N} \quad (1)$$

Donde:

V_{exp_i} = valor experimental

V_{pre_i} = valor predicho por la superficie de respuesta

N = número de datos experimentales

Experiencias de deshidratación osmótica

El sistema (papas y solución) se colocó en un vaso de precipitado de 2 L y se agitó a 120-130 rpm en un agitador orbital con controlador de temperatura y una campana acrílica que permite mantener una temperatura constante en el recinto en donde se halla el recipiente.

Al inicio de las experiencias se trabajó con una masa de papa de 270 g y una masa de solución de 1080 g (relación masa de solución/masa de papa igual a 4).

La humedad inicial de las papas frescas se determinó tomando una muestra de 10 g de papa sin deshidratar y llevándola a estufa. A intervalos de tiempo de 30 min (para la primera medición) y 1h para las mediciones posteriores se extrajeron del vaso de precipitado las papas que se hallaban inmersas en la solución deshidratante. Se las enjuagó con agua destilada para extraer la sacarosa adherida a su superficie y se las secó cuidadosamente con papel tissue. Posteriormente, las papas se pesaron para analizar cómo varía la pérdida de peso en función del tiempo. Se pesaron en conjunto y luego se para cada tiempo analizado se separaron 5 g de papa para determinar humedad en estufa y 20 g de solución para determinar la concentración de

sólidos solubles en la misma.

Para elaborar las curvas de secado (pérdida de peso de las papas en función del tiempo de deshidratación osmótica) se realizaron las correcciones de peso correspondientes por la masa de muestra que se retiró para cada tiempo de medida.

Las experiencias se llevaron a cabo por triplicado.

Descripción de las experiencias de secado por microondas

Se trabajó en un microondas marca De Longhi, potencia máxima 1000W, capacidad 25 litros; frecuencia: 2450 MHz.

Al inicio de la experiencia se colocó una masa de papa fresca de 270 g en el microondas. Las papas se distribuyeron de manera concéntrica y dejando un espacio en el centro (formando una especie de corona) sobre la bandeja. Se trabajó con distintas potencias: 20%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% y 90% respecto de la potencia máxima alcanzada por el equipo en las distintas experiencias de secado. Se pesó la masa de papa total a diferentes tiempos para obtener así las curvas de secado, masa en función de su variación con el tiempo de secado por microondas: Masa (g) vs t (min). El secado se continuó hasta obtener peso aproximadamente constante. Las experiencias se realizaron por triplicado. El tratamiento de las réplicas fue similar al realizado con los datos experimentales de deshidratación osmótica.

Descripción de las experiencias de secado combinado (microondas y convección con aire caliente) de las papas y pretratamiento con deshidratación osmótica

Se realizó en tres etapas:

1. Análisis de la concentración más adecuada de sal a emplear en el pretratamiento.

En el pretratamiento con deshidratación osmótica, antes del secado combinado, se reemplazó la sacarosa por xilitol y la concentración de sal se modificó manteniendo las restantes variables en las condiciones de operación indicadas anteriormente. Las papas se deshidrataron osmóticamente durante 1h

a dos concentraciones de sal diferentes 5% m/m y 10% m/m. El producto obtenido en los dos casos se evaluó sensorialmente por un panel no entrenado y también se comparó la pérdida de peso en ambas experiencias.

2. Análisis del tiempo de pretratamiento con deshidratación osmótica.

En las experiencias de deshidratación osmótica utilizando una concentración de xilitol del 40% m/m y una concentración de sal del 5% m/m y con las restantes variables en las condiciones finales de operación obtenidas, se estudió si era más conveniente deshidratar durante 1 o 2h analizando la pérdida de peso.

3. Condiciones elegidas de operación de las papas pretratadas con deshidratación osmótica.

Finalmente, las papas fueron pretratadas con deshidratación osmótica en solución acuosa de xilitol en las siguientes condiciones, y luego se realizó el secado combinado:

Concentración de xilitol: 40 % m/m
 Concentración de sal: 5 % m/m
 Temperatura: 40 °C
 Relación masa de solución a masa de papa: 4
 Tamaño de cubos: 1 cm de arista
 Nivel de agitación: 120-130 rpm
 Tiempo de deshidratación osmótica: 1 h

Descripción de las experiencias de secado combinado de las papas luego del pretratamiento

Las papas fueron luego llevadas al equipo de microondas, el que se hizo operar en condiciones de secado combinado, microondas junto con convección con aire caliente. Se analizaron para el secado combinado las siguientes potencias de microondas: 40%, 50% y 60% de la potencia máxima del equipo. Estas experiencias se realizaron por triplicado y el tratamiento de los datos experimentales obtenidos en las réplicas fue similar al que se dio a los datos de deshidratación osmótica.

Determinación de humedad de las papas

El contenido de humedad se determinó a través de la pérdida de peso por desecación en estufa. Durante 2h se las seca a 70 °C y lue-

go a 104 °C por 72h más. En un principio el secado se realiza a menor temperatura para evitar la pérdida abrupta de agua y la pérdida de material por proyección.

Medición de la transferencia de masa

La evolución de la transferencia de masa con el tiempo se midió a través de la pérdida de peso (PP); el contenido de sólidos totales (ST); la pérdida de agua (PA); la ganancia de sólidos (GS) y la concentración de los sólidos solubles en la solución (SS). Las ecuaciones se detallan a continuación:

$$PP(\%) = \left(\frac{m_0 - m_f}{m_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

m_0 = masa inicial de muestra de papa fresca.
 m_f = masa de muestra deshidratada osmóticamente a tiempo t

$$ST(\%) = \left(\frac{m_s}{m_0} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$H(\%) = 100 - ST(\%) \quad (3)$$

m_s = masa de muestra seca para determinado tiempo, t
 H (%) = porcentaje de humedad para determinado tiempo, t

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

$$\left(1 - \frac{ST}{100} \right) \left(1 - \frac{PP}{100} \right) \times 100 \quad (5)$$

ST^0 = contenido de sólidos totales iniciales
 ST = contenido de sólidos totales para determinado tiempo, t

$$GS(\%) = \left[\left(1 - \frac{PP}{100} \right) \frac{ST}{100} - \frac{ST^0}{100} \right] \times 100$$

Modelado de la deshidratación osmótica

Varios modelos encontrados en la literatura

se utilizaron para ajustar los datos experimentales. En este trabajo se aplicaron modelos que se basan en la segunda Ley de Fick de la difusión y modelos totalmente empíricos como los de Peleg, Azuara, Hawkes y Flink, Raoult-Wack, cinéticas de primer orden y modelos polinómicos.

Se consideró como criterio de ajuste de los modelos a los datos experimentales, el coeficiente de determinación, R^2

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (V_{pre_i} - \bar{V})^2}{\sum_{i=1}^N (V_{exp_i} - \bar{V})^2} \quad (6)$$

\bar{V} = promedio de todos los N datos experimentales

N = número de datos experimentales

Subíndices

pre indica valor predicho por el modelo

exp indica valor experimental

i: valor iésimo, cada uno de los N valores

Para la presentación estadística de los coeficientes de difusividad efectivos se calcularon los coeficientes de variación muestral que miden la variabilidad de los datos respecto de la media y cuya ecuación es la siguiente:

$$CV = 100 \frac{s}{\bar{X}} \quad (7)$$

donde:

CV= coeficiente de variación muestral

s= desviación estándar o típica que se calcula con la expresión:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (8)$$

\bar{X} = promedio muestral que se determina mediante la ecuación:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (9)$$

Modelado del secado por microondas

Se aplicaron los siguientes modelos para el secado por microondas: lineal, potencial, exponencial, logarítmico y polinómicos (grado 2, 3, 4, y 5).

Modelado del secado combinado (microondas y convección con aire caliente simultáneo)

En el caso del secado combinado, los datos experimentales se ajustaron con los modelos de Page, de primer orden, exponencial y polinómicos

Condiciones de envasado en atmósfera modificada y determinación del tiempo de vida útil del producto.

Las papas deshidratadas por secado combinado (potencia de microondas 60% del máximo) y pretratadas por deshidratación osmótica durante 1h, utilizando como agentes deshidratantes: xilitol y sal, 40% m/m y 10% m/m en la solución, respectivamente, fueron luego envasadas en atmósfera modificada: 30% de CO₂ y 70% de N₂ en bolsas de material multicapa: polietileno-poliamida-polietileno. Luego se determinó el tiempo de vida útil durante su almacenamiento en refrigeración a 4°C. Los ensayos microbiológicos realizados fueron: aerobios mesófilos a 30°C, anaerobios mesófilos a 30°C, enterobacterias, coliformes totales, mohos, levaduras clostridios sulfito reductores, staphylococcus aureus coagulasa, escherichia coli.

Los análisis se realizaron en los días 0, 30, 60 y 120 de almacenamiento.

Microscopía electrónica de barrido ambiental de las papas para estudiar su estructura y los efectos que provocan en la misma los distintos tratamientos

Se realizó la microscopía electrónica de barrido ambiental a las papas sometidas a los siguientes tratamientos: deshidratación osmótica, microondas y secado combinado (secado por microondas y convección con aire caliente), en este último caso luego de pretratamiento con deshidratación osmótica.

La microscopía electrónica de barrido es una

herramienta fundamental en el estudio de la microestructura de las muestras y permite ver las modificaciones del producto cuando es sometido a los distintos tratamientos. Se trabajó con un microscopio electrónico de barrido ambiental, marca Philips, modelo XL 30. Las muestras se sometieron a una atmósfera con 45% de humedad relativa, temperatura de 5°C y una presión de 3 torr y se analizaron al natural.

Resultados

Como este trabajo es una síntesis de un trabajo de tesis se presentan algunos de los resultados obtenidos y no todos por razones de espacio.

Se realizó la búsqueda de las condiciones óptimas de trabajo (concentración de sacarosa, de sal, temperatura, relación masa de solución a masa de papa, tiempo de deshidratación, etc.) durante la deshidratación osmótica. Es decir se buscó el valor de las anteriores variables que maximizan la pérdida de peso (PP), incrementando la pérdida de agua (PA) y minimizando la ganancia de sólidos (GS) (ecuación 10). A continuación se estudiaron cada una de estas variables y sus efectos sobre el fenómeno de deshidratación. Para ello se modificaron cada una de las variables que se deseaban analizar manteniendo las restantes constantes.

$$PP = PA - GS \quad (10)$$

Las condiciones finales de operación obtenidas fueron:

Concentración de sacarosa: 40 % m/m
Concentración de sal: 10% m/m
Temperatura: 40 °C
Relación masa de solución a masa de papa: 4
Tamaño de cubos: 1 cm de arista
Nivel de agitación: 120-130 rpm

Una concentración de sacarosa de 40% m/m produce una pérdida de peso considerable y una viscosidad de la solución adecuada para el nivel de agitación usado. Si la concentración de sacarosa es muy elevada la solución se torna muy viscosa y requiere un nivel de agitación mayor y el gasto energético se incrementa, pudiendo también aumentar las posibilidades de daño del producto por ero-

sión durante la agitación. El dulzor de la solución se enmascara favorablemente con una concentración de sal de 10% m/m no permitiendo percibir el salado. Además la sinergia de estos dos solutos a las concentraciones empleadas produce una apreciable pérdida de agua sin ser significativa la ganancia de sólidos ya que la impregnación de la superficie de las papas con sacarosa forma una barrera a la entrada de sal pero no a la salida del agua. Una temperatura de 40°C permite también obtener una pérdida de peso favorable manteniendo una conveniente eficiencia energética. Si bien un tamaño de cubo inicial menor al elegido (0,6 cm de arista) produce una mayor pérdida de peso (pérdida de agua) durante las primeras horas de deshidratación, tenemos que considerar que estos cubos se encogen luego de la deshidratación osmótica obteniéndose un tamaño de cubos de papa muy pequeño para el uso que deseamos darle. La relación masa de solución a masa de papa de 4 parece adecuada a los efectos de la pérdida de peso y al manejo de la cantidad de solución a reciclar en posteriores partidas para deshidratar y la disposición del efluente cuando la solución deba reemplazarse.

A partir de los datos experimentales obtenidos se pudo inferir que cuando el propósito es la deshidratación osmótica de un producto es maximizar la pérdida de agua, y se quiere limitar la impregnación del mismo sólo a las capas externas, es conveniente usar altas concentraciones de solución (del orden de 40-50% m/m, no superiores) y tiempos de deshidratación osmótica cortos (entre 1 y 2 horas).

Si lo que se desea es la impregnación del producto es más conveniente emplear una concentración relativamente baja y tiempos largos de deshidratación. Los resultados concuerdan con los alcanzados por Genina Soto et al (2001).

Si analizamos el efecto sinérgico de los dos solutos: sacarosa y sal en la pérdida de agua del producto, se encuentra que cuando se incrementa la concentración de los solutos en la solución, se produce una mayor deshidratación del producto, ya que la actividad de agua de la solución acuosa disminuye y la fuerza impulsora para la deshidratación es mayor.

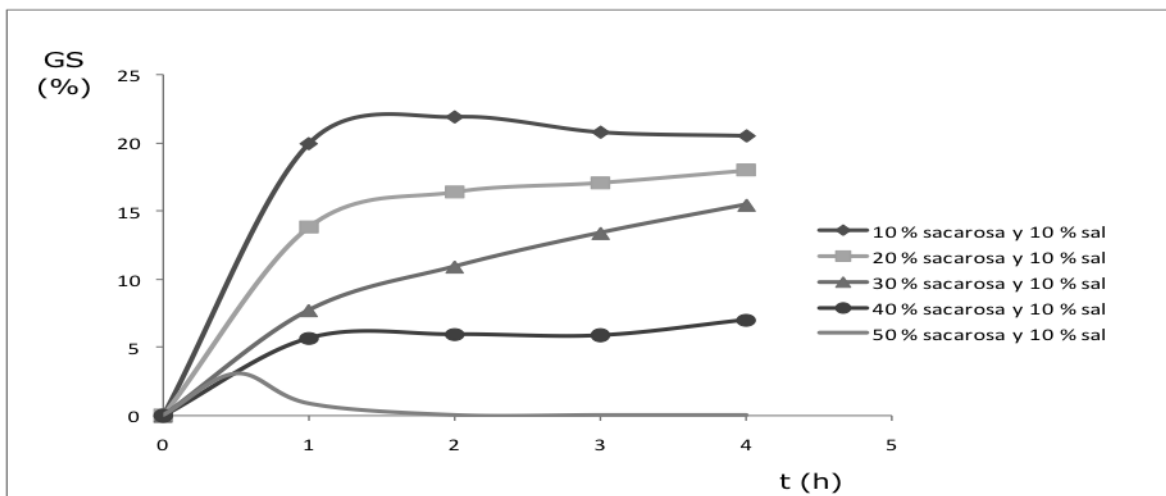


Fig. 1. Ganancia de sólidos en función del tiempo en las distintas experiencias de deshidratación osmótica con diferentes concentraciones de sacarosa y la misma concentración de sal en la solución, 10% m/m. Los valores de las restantes variables iguales a las de las condiciones de operación óptimas finales

Análisis de la ganancia de sólidos en el producto durante el proceso de deshidratación osmótica

En la Fig. 1 se puede apreciar la ganancia de sólidos en función del tiempo para las distintas experiencias de deshidratación osmótica realizadas en soluciones de diferente concentración de sacarosa (10% m/m, 20% m/m, 30% m/m, 40 % m/m y 50% m/m) y la misma concentración de sal, 10% m/m.

En esta figura se puede observar que la ganancia de sólidos es inferior a altas concentraciones de sacarosa debido probablemente a la formación de una capa de sacarosa superficial sobre el producto que impide el ingreso de sólidos dentro del mismo (como se mencionó anteriormente). Este fenómeno fue observado también por otros autores (Giraldo, 2003; Mujica – Paz y col., 2003). Según estos investigadores, la solución más diluida puede penetrar mejor en el interior de los tejidos, en contraste con las soluciones concentradas que son más viscosas y, entonces, obstaculizan el paso de los solutos que se hallan en la solución (iones sodio y cloruro hidratados y moléculas de sacarosa) al desarrollarse dicha capa de soluto sobre el alimento. Esta película posee un espesor mayor para concentraciones de sacarosa en la solución superiores. Por consiguiente, resulta mayor el impedimento para el ingreso de sólidos al producto.

En la curva correspondiente a la mayor concentración de sacarosa en la solución, 50% m/m se observa un máximo a aproximadamente 30 min. Luego de este tiempo los valores disminuyen en concordancia con una disminución en la entrada de sólidos por la formación de dicha capa y un incremento en la salida del agua que arrastra consigo los iones solvatados de la sal desde el interior del producto hacia la solución. Estudio de la deshidratación osmótica en función del tiempo de deshidratación

En el proceso de deshidratación osmótica la mayor pérdida de peso se presenta luego de transcurridas las primeras dos horas aproximadamente para las distintas concentraciones de sacarosa en la solución. Para las soluciones de concentración en sacarosa inferiores (30% m/m, 20% m/m y 10% m/m) la pérdida de peso comienza a disminuir levemente luego de las 2h. Este fenómeno, como afirmamos precedentemente, podría atribuirse a una impregnación del producto con solutos provenientes de la solución.

Superficies de respuesta

La metodología de superficie de respuesta se utilizó para estimar los efectos de las variables de proceso: tiempo de deshidratación, concentración de sacarosa y concentración de sal en la solución deshidratante. Estas fueron las variables que provocaron variaciones más signifi-

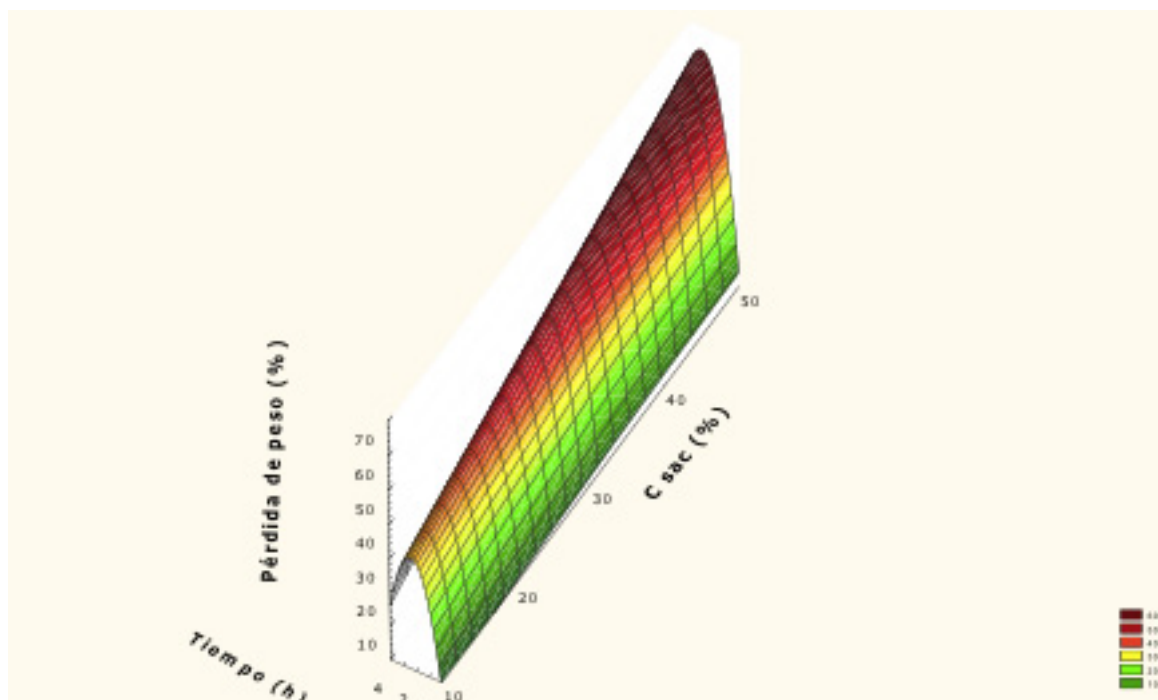


Fig. 2. Superficie de respuesta: Pérdida de peso en función de la concentración de sacarosa en la solución deshidratante (10% m/m – 50% m/m) y el tiempo de deshidratación (0 – 4h)

cativas en el rango de valores que se analizaron, tal como puede observarse al analizar los gráficos anteriormente presentados. En el caso de la temperatura no se empleó esta metodología porque sólo se estudiaron dos valores: 30°C y 40°C y en el caso de la relación masa de solución a masa de papa no se observaron diferencias muy significativas en el rango de R (1,6-10). En cuanto al tamaño de los cubos se empleó el valor intermedio del rango estudiado (1 cm).

La metodología de superficie de respuesta es una herramienta muy efectiva para la optimización de los parámetros de proceso. En primer lugar, se analizó la influencia sobre la pérdida de peso de la concentración de sacarosa de la solución y el tiempo. La superficie de respuesta se muestra en la Fig. 2 y la ecuación que la representa es la siguiente:

$$PP = 4,8617 + 0,3411Csac + 27,4196 t + 0,032 Csac^2 + 0,2229 Csac * t - 6,2952 t^2 \quad (11)$$

Donde PP: pérdida de peso (%)
Csac: concentración de sacarosa (%)
t: tiempo

El modelo propuesto fue el cuadrático que para ambas variables estudiadas incluye un término lineal, otro cuadrático y uno correspondiente a las interacciones entre variables. Las variables con mayor coeficiente son las que influyen más significativamente sobre la pérdida de peso. En este caso es el tiempo. Los coeficientes lineales resultaron mayores que los cuadráticos en valor absoluto y la interacción (concentración de sacarosa y tiempo) exhibió un coeficiente menor que el obtenido por las variables analizadas de manera aislada (término lineal) y superior respecto del coeficiente del término cuadrático de la concentración de la sacarosa e inferior que el coeficiente del término cuadrático del tiempo (en valor absoluto).

El error relativo medio entre los datos experimentales y los valores predichos por la superficie de respuesta es de 0,29%.

A partir del gráfico se puede verificar que la pérdida de peso presenta un máximo alrededor de las dos horas de deshidratación para cualquier valor de concentración de sacarosa en la solución deshidratante y que el valor de este máximo se incrementa con el aumento en la concentración de sacarosa en la solución. Estas afirmaciones concuerdan con las anteriormente obtenidas.

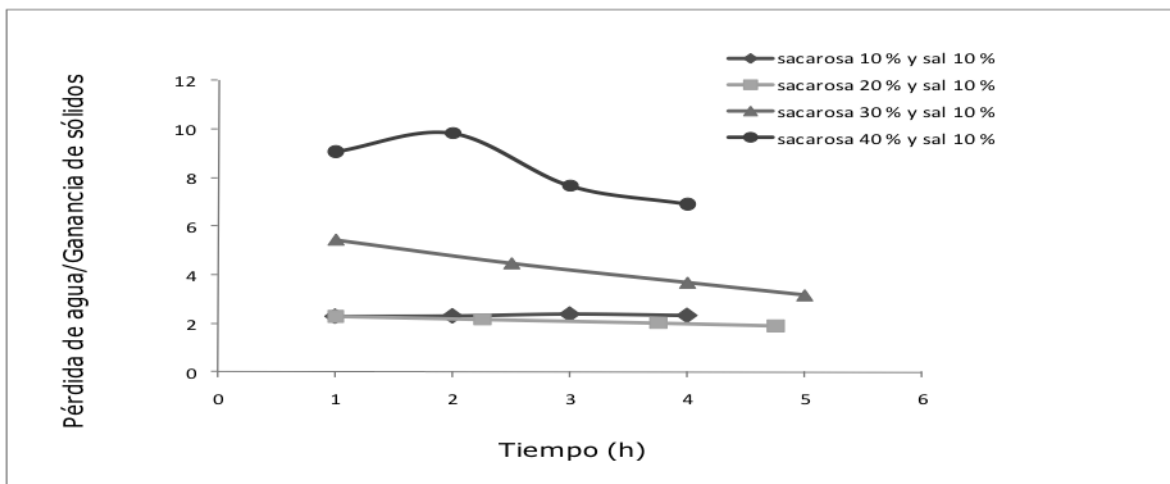


Fig. 3. Relación pérdida de agua a ganancia de solutos en función del tiempo para diferentes concentraciones de sacarosa en la solución deshidratante

Estudio de la relación pérdida de agua a ganancia de sólidos en función del tiempo para diferentes concentraciones de sacarosa en la solución

La eficiencia del proceso de deshidratación osmótica puede medirse analizando la relación entre la pérdida de agua y la ganancia de sólidos (PA/GS). En este proceso, teniendo en cuenta el material (papa), los solutos (azúcar y sal) y el uso propuesto es deseable maximizar la pérdida de agua y minimizar la ganancia de sólidos. Este objetivo se logra al maximizar la relación (PA/GS).

En la Fig. 3 se muestran los valores de estas relaciones en función del tiempo para las distintas concentraciones de sacarosa en la solución.

A concentraciones de sacarosa bajas (10% m/m y 20% m/m) en la solución, la relación PA/GS se mantiene prácticamente constante en el tiempo. Si analizamos las curvas, para una concentración en sacarosa del 30% m/m y del 40% m/m la relación presenta sus valores más altos en las primeras dos horas de deshidratación osmótica. En el caso de la concentración de sacarosa del 50 % m/m en la solución (no representada en el gráfico), la relación PA/GS aumenta y tiende a infinito a medida que el tiempo se incrementa ya que la ganancia de sólidos disminuye tendiendo a 0 para tiempo superiores a 2h. De esta manera se concluye que, la máxima eficiencia en la deshidratación

osmótica se presenta en las primeras dos horas de tratamiento para concentraciones de sacarosa en la solución (30% m/m-40% m/m) y concentración de sal de 10% m/m.

Modelado de la deshidratación osmótica

Modelos fenomenológicos que se basan en la segunda Ley de Fick de la difusión. Modelo de Crank. Determinación de los coeficientes de difusión

Para la estimación de los coeficientes de difusión para el transporte de agua y de sólidos solubles durante la deshidratación osmótica se aplicó la solución correspondiente a la 2ª ley de Fick, para el caso de geometría cúbica y se consideró que como el número de Fourier, $F_0 = 3 D_{ew} t / a^2$ (transporte de agua) o $F_0 = 3 D_{es} t / a^2$ (transporte de sólidos) es mayor a 0,1 sólo los primeros términos de la ecuación son significativos y los demás términos pueden despreciarse.

a) Determinación del coeficiente de difusión de agua de las papas para las condiciones de operación óptimas finales de deshidratación osmótica

Si se grafica el primer miembro de la ecuación simplificada (primer término de la ecuación general)

$$\ln \left[\frac{(H_t - H_e)}{H_0 - H_e} \right]$$

versus el tiempo de deshidratación, empleando los datos experimentales, se obtiene aproximadamente una recta.

En esa ecuación H representa el porcentaje de humedad y los subíndices t, 0 y e se refieren a las condiciones a un tiempo determinado, inicial y de equilibrio, respectivamente.

La Fig. 4 presenta los datos experimentales para las condiciones de operación finales, para las que la concentración de sacarosa en la solución es del 40 % m/m. La pendiente y la ordenada al origen de la recta de regresión son las siguientes:

$$\text{Pendiente} = -D_{ew} q_1^2 \frac{3}{a^2} \quad (12)$$

$$\text{Ordenada al origen} = 3 \ln C_1 \quad (13)$$

A partir de la ordenada al origen de la recta de regresión, se obtiene el valor de C_1 : 0,9965 y para un valor calculado de $\alpha=1080$ y despejando de la siguiente ecuación:

$$C_1 = \frac{2\alpha(1+\alpha)}{(1+\alpha+\alpha^2 q_1^2)} \quad (14)$$

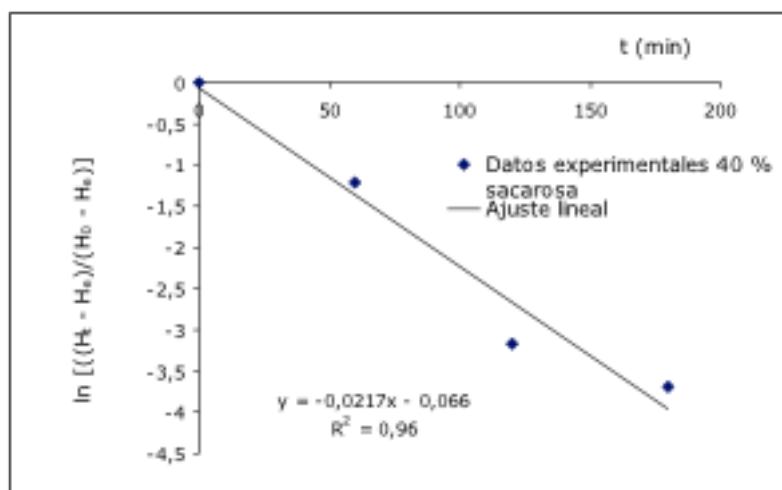


Fig. 4. Resultados experimentales y regresión lineal del modelo de Fick para la difusión del agua, en la deshidratación osmótica de papas en cubos de 1 cm de arista en solución de sacarosa 40% m/m, sal 10 % m/m, relación masa de solución a masa de papa: 4, temperatura: 40°C y nivel de agitación 120-130 rpm.

q_1 son las raíces positivas no nulas de la ecuación

$$\tan q_1 = -\alpha q_1$$

α es la relación entre el volumen de solución y el volumen del producto se obtiene $q_1^2 = 2,00$. Con este valor y el de $a =$ mitad del lado del cubo = 0,5 cm se reemplaza –en la ecuación de la pendiente, y se despeja el valor de D_{ew} .

El valor obtenido para las condiciones finales es: $D_{ew} = 1,32 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Este valor es del orden del obtenido por Lenart y Flink (1984) en papas ($D_{ew} = 1,10 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) deshidratadas en solución de cloruro de sodio, 15% p/v y de sacarosa, 45 % p/v.

Asimismo se calcularon los valores de D_{ew} para las otras concentraciones de sacarosa (10 %, 20 %, 30 % y 50 %) consideradas en las experiencias.

Los valores del coeficiente de determinación se hallan en el rango de (0,83-0,99).

En la Tabla 1 se presentan los valores medios y las correspondientes desviaciones estándares de los coeficientes de difusión del agua, D_{ew} para distintas concentraciones de sacarosa en la solución. También se presentan los coeficientes de variación respectivos.

Solución Deshidratante	D_{ew} 1010 (m²/s)	CV (%)
10% sacarosa 10% sal	5,70 ± 0,35	6,1
20% sacarosa 10% sal	7,40 ± 0,13	1,8
30% sacarosa 10% sal	10,7 ± 0,90	8.4
40% sacarosa 10% sal	13.2 ± 1,60	12,1
50% sacarosa 10% sal	17,4 ± 1,80	10,3

Tabla 1. Valores medios y sus correspondientes desviaciones estándares de los coeficientes de difusión del agua, D_{ew} para distintas concentraciones de sacarosa y la misma concentración de sal 10% m/m en la solución

A partir de los resultados obtenidos se puede inferir que a medida que la concentración de sacarosa aumenta en la solución, en el rango de 10% m/m a 50% m/m, los valores de los coeficientes de difusión efectivos del agua incrementan presentando diferencias bastante significativas entre ellos. Esto podría atribuirse a que una mayor concentración de sacarosa en la solución aumenta la fuerza impulsora para la salida de agua desde el producto a la solución.

b) Determinación del coeficiente de difusión de sólidos para las condiciones óptimas finales de deshidratación osmótica calculadas

Los datos experimentales para la difusión de sólidos se trataron de manera similar que para la difusión de agua, aplicando la ecuación de Fick.

El coeficiente de difusión de los sólidos obtenido es de $3,12 \pm 0,63 \times 10^{-10}$ m²/s, inferior al coeficiente de difusión del agua, $13,2 \pm 1,60 \times 10^{-10}$ m²/s ya que a una concentración de sacarosa 40% m/m y 10% m/m de sal la difusión del agua resulta más significativa que la ganancia de soluto.

En el modelado matemático de la deshidratación osmótica se emplearon también otros

modelos del tipo empíricos como los de Peleg, Azuara, Hawkes y Flink y Raoult-Wack que ajustaron los datos experimentales de manera satisfactoria. No obstante, se considera que el modelo de Hawkes y Flink ajusta los valores experimentales mejor para tiempos cortos. Los modelos de Peleg, Azuara y Raoult Wack predijeron los valores de equilibrio para la humedad y la pérdida de agua de manera similar. Sin embargo se pudo apreciar un mejor ajuste a los datos experimentales de los modelos de Azuara y Raoult Wack. También se utilizaron modelos polinomiales cuyo ajuste fue apropiado para el caso de tercer grado. La discusión de estos modelos se presentaron en P. Della Rocca et al. Proyecciones Vol. 8, Nº 2, 2010.

Modelado del secado por Microondas

Las curvas experimentales de secado por microondas se ajustaron con distintos modelos matemáticos simples: lineal, exponencial, logarítmico, potencial y poli nómicos de grado 2, 3, 4 y 5. Los resultados se presentaron en

P. Della Rocca et al. Proyecciones Vol. 7, Nº 2, 2009.

Modelado del secado combinado

Luego de un pretratamiento con deshidratación osmótica de 1 hora (en las condiciones

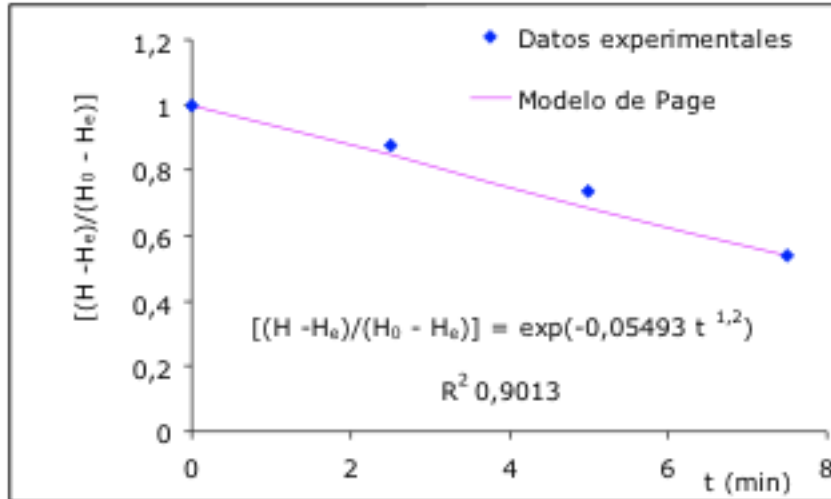


Fig. 5. Humedades del producto en función del tiempo durante el secado combinado (microondas, potencia 60% y convección con aire caliente) para papas pretratadas por deshidratación osmótica durante 1h en solución 40% m/m de xilitol y 5% m/m de sal y ajuste de los datos experimentales con el modelo de Page

citadas en Métodos) se evaluaron los resultados obtenidos con microondas y convección con aire caliente a distintas potencias 40, 50 y 60 % de la potencia máxima del horno de microondas (P. Della Rocca et al. Proyecciones Vol. 8, Nº 1, 2010.)

Los datos experimentales se ajustaron satisfactoriamente con expresiones polinómicas de tercer grado.

Los datos de las humedades de las papas durante el secado combinado (microondas a una potencia de 60 % y convección con aire caliente) en función del tiempo se ajustaron también con métodos empíricos. Entre ellos se aplicaron el modelo de Page, el de primer orden también llamado por algunos autores, de difusión, y otras expresiones exponenciales y polinómica. A continuación se muestra el ajuste del modelo de Page a los datos experimentales.

Modelo de Page: ecuación

$$\frac{H_1 - H_e}{H_0 - H_e} = \exp(-A t^B)$$

donde A y B son parámetros del modelo y los subíndices t, 0 y e se refieren a las condiciones a un tiempo determinado, inicial y de

equilibrio, respectivamente.

Los mejores ajustes se lograron con las expresiones exponenciales y polinómicas de segundo orden como puede apreciarse en las Figuras 6 y 7.

El modelo de difusión no ajustó satisfactoriamente los datos experimentales. El modelo de Page ajustó satisfactoriamente los datos a tiempos cortos $t \leq 7,5$ min y se obtuvo un coeficiente de determinación, R^2 de 0,9013. Las expresiones exponenciales y polinómicas de segundo grado permitieron un mejor ajuste, con coeficientes de determinación muy cercanos a 1 en ambos casos, y permitieron ajustar los datos experimentales en un rango de tiempo mayor (hasta 12,5 min)

Condiciones de operación y resultados obtenidos con el tratamiento seleccionado para el secado de las papas

Finalmente, el tratamiento de las papas consistió en la deshidratación osmótica durante 1h en una solución con 40% m/m de xilitol y 5% m/m de sal y las condiciones restantes iguales a las detalladas en el ítem Métodos). La pérdida de peso obtenida fue de aproximadamente del 40% y se alcanzó una humedad en el producto del 70% en base húmeda. Luego se continuó con el secado combinado de las pa-

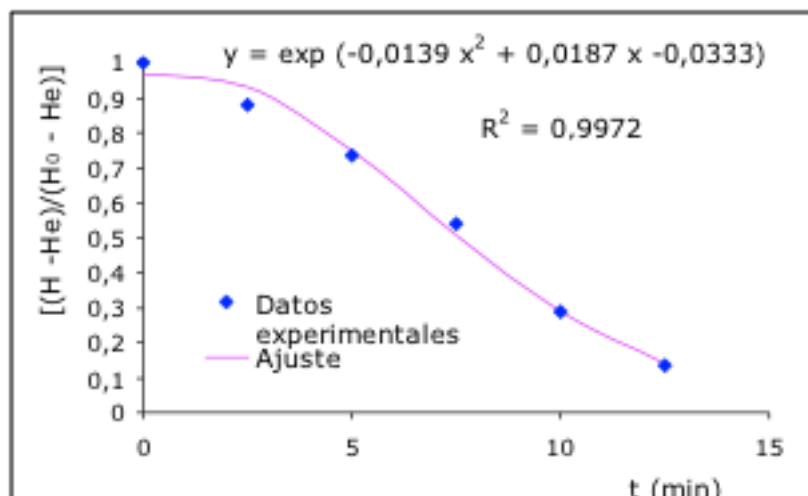


Fig. 6. Humedades del producto en función del tiempo durante el secado combinado (microondas, potencia 60% y convección con aire caliente) para papas pretratadas por deshidratación osmótica durante 1h en solución 40% m/m de xilitol y 5% m/m de sal y ajuste de los datos experimentales con expresión exponencial

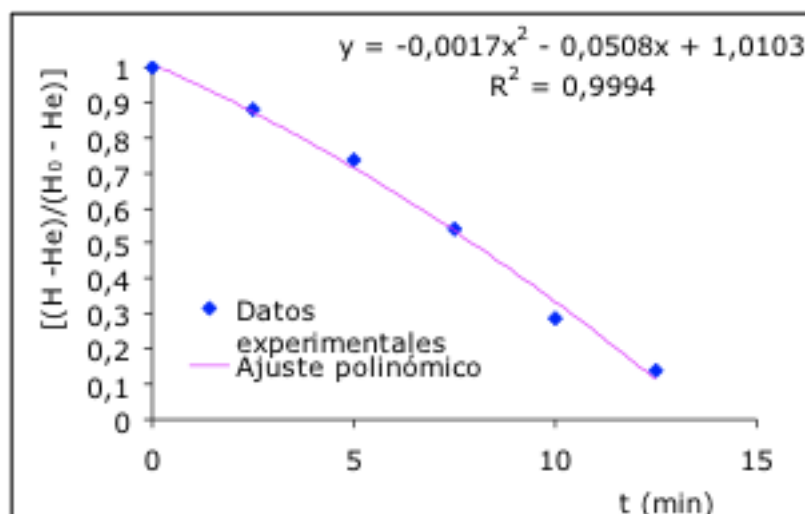


Fig. 7. Humedades del producto en función del tiempo durante el secado combinado (microondas, potencia 60% y convección con aire caliente) para papas pretratadas por deshidratación osmótica durante 1h en solución 40% m/m de xilitol y 5% m/m de sal y ajuste de los datos experimentales con expresión polinómica de segundo grado

pas (microondas y convección con aire caliente) durante 5 min con una potencia del 60% respecto de la máxima que puede suministrar el equipo. Al final de esta etapa se logró una pérdida de peso de alrededor del 60-65% y una humedad del producto en base húmeda del 50%.

En este trabajo se emplearon factores com-

binados de conservación con el objeto de aumentar la vida útil del alimento. Estos consistieron en: deshidratación osmótica durante 1h en solución al 40% de xilitol y 5% de sal y secado combinado (microondas y convección con aire caliente a una potencia de microondas del 60% de su potencia máxima), que reducen la actividad de agua, y un posterior envasado en atmósfera modificada (30% de

CO₂ y 70% de N₂) y refrigeración a 4°C.

Luego de 120 días de almacenamiento del producto en atmósfera modificada y conservación a 4°C no se detectó contaminación apreciable por los microorganismos típicos que se consideran para establecer la inocuidad de un alimento (CAA). Por lo tanto podemos considerar que el producto se mantuvo estable frente al deterioro microbiano en el lapso analizado. Los resultados se presentaron en R. Mateucci et al. *Proyecciones* Vol. 9, N° 1, 2011.

El estudio de las microestructuras de las papas sin tratar y tratadas permitió entender más sobre los distintos tratamientos térmicos

Conclusiones

Para el proceso de deshidratación osmótica, la solución de la 2ª Ley de Fick de la difusión para la transferencia de masa en estado no estacionario en el caso de geometría cúbica se utilizó para calcular los coeficientes de difusión efectivos. La importancia de este cálculo radica en que conociendo los coeficientes de difusión efectivos se puede predecir la humedad de las papas en cualquier instante de tiempo si se trabaja en condiciones experimentales similares. Los valores de difusividad efectiva del agua calculados para la deshidratación osmótica utilizando una solución de concentración 40% m/m de sacarosa y 10% m/m de sal fueron de $1,32 \pm 0,16 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ empleando el modelo de Fick.

Estos valores obtenidos fueron similares a los encontrados en la literatura. Se calcularon los coeficientes de difusión efectivos del agua para distintas concentraciones de sacarosa en la solución y se pudo concluir que el coeficiente aumenta a medida que se incrementa la concentración de los solutos en la solución. Es decir, aumenta al ser superior la fuerza impulsora (actividad acuosa) entre el alimento y la solución en que se halla inmerso. Asimismo se calculó el coeficiente de difusión efectivo de sólidos. El valor obtenido fue de $3,12 \pm 0,63 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ inferior al coeficiente de difusión del agua, $13,2 \pm 1,60 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ya que a una concentración de sacarosa de 40% m/m y 10 % m/m de sal, la difusión del agua resulta más significativa que la de sólidos.

En el modelado matemático de la deshidra-

tación osmótica se emplearon también otros modelos del tipo empíricos como los de Peleg, Azuara, Hawkes y Flink y Raoult-Wack que ajustaron los datos experimentales de manera satisfactoria. No obstante, se considera que el modelo de Hawkes y Flink ajusta los valores experimentales mejor para tiempos cortos. Los modelos de Peleg, Azuara y Raoult Wack predijeron los valores de equilibrio para la humedad y la pérdida de agua de manera similar. Sin embargo se pudo apreciar un mejor ajuste a los datos experimentales de los modelos de Azuara y Raoult Wack. También se utilizaron modelos polinomiales cuyo ajuste fue apropiado para el caso de tercer grado.

Por otra parte, en la etapa de secado combinado de las papas pretratadas con deshidratación osmótica en las condiciones anteriormente mencionadas se ajustaron los datos experimentales de manera favorable con expresiones polinómicas de tercer grado y se alcanzaron coeficientes de determinación muy cercanos a 1.

La deshidratación osmótica como pretratamiento antes del secado combinado contribuyó a impedir el deterioro de la estructura y la pérdida de aromas y sabores que se originarían en el producto si se sometiera a altas temperaturas como en el caso del tratamiento térmico empleando sólo secado convectivo. La deshidratación osmótica es un proceso eficiente desde el punto de vista energético

El secado combinado posterior al pretratamiento con deshidratación osmótica requiere condiciones menos severas que si se aplica únicamente el secado combinado

Los resultados y las conclusiones alcanzadas en esta tesis aportan información para el diseño de productos hortícolas mínimamente procesados y permiten predecir la tendencia de algunas variables (pérdida de agua, ganancia de sólidos) determinantes en la eficiencia del tratamiento pudiendo contribuir a optimizar las condiciones de proceso a escala industrial

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a la Secretaría de Ciencia y Técnica y al Departamento de Ingeniería Química de la FRBA por su contribución financiera que hicieron posible que esta tesis

pueda llevarse a cabo en las instalaciones de esta Facultad. También deseo expresar mi reconocimiento al Ing. Ricardo Mateucci por su colaboración en los ensayos microbiológicos, al

gerente de la empresa Rapi-vac, Werner Pablo Kähnlein que puso a mi disposición sus máquinas de envasado en atmósfera modificada.

Referencias

- AZUARA, E.; BERISTAIN, C.I. y GARCÍA, H.S., (1992) Development of a mathematical model to predict kinetics of osmotic dehydration. *International Journal of Food Science and Technology* 29 (4), 239-242.
- AZUARA, E.; BERISTAIN, C. I. y GUTIÉRREZ, G.F., (1998) A Method for continuous kinetic evaluation of osmotic dehydration. *Lebensmitt-Wissenschaft und-Technologie*, 31, 317-321.
- BIANCHI, M.; MILISENDA, P.; GUARNASCHELLI, A. y MASCHERONI, R.H., (2009) Modelado y simulación de procesos de congelación y dehidrocongelación de frutas, *Ingeniería Alimentaria* (83), pag. 52- 60.
- CRANK, J., (1975) *The mathematics of diffusion*, Second Edition, UK, Clarendon Press.
- DELLA ROCCA, P. y MASCHERONI, R. "Secado de papas por microondas" *Proyecciones*, Vol 7, N°2, 2009. Buenos Aires, FRBA.
- DELLA ROCCA, P. y GUTIERREZ, M.C., LANGUASCO, J.M. y MASCHERONI, R. "Secado combinado de papas" *Proyecciones*, Vol 8, N°1, 2010. Buenos Aires, FRBA.
- DELLA ROCCA, P. y MASCHERONI, R. "Modelado matemático del proceso de deshidratación osmótica utilizado como pretratamiento en el secado de papas" *Proyecciones*, Vol 8, N°2, 2010. Buenos Aires, FRBA.
- GIRALDO BEDOYA, D.; ARANGO VÉLEZ, L. y MÁRQUEZ CARDOZO, C., (2003) Osmodeshidratación de Mora de Castilla (*Rubus Glaucus Benth*) con tres agentes edulcorantes www.scielo.org.com
- HAWKES J. y FLINK J., (1978) Osmotic concentration of fruits slices prior to freeze dehydration. *J. Food Proc. Preserv.* 2, 265-284.
- MATEUCCI, R., DELLA ROCCA, P. y MASCHERONI, R. "Estudio microbiológico y estructural de papas deshidratadas por métodos combinados y envasadas en atmósfera modificada" *Proyecciones*, Vol 9, N°1, 2011. Buenos Aires, FRBA.
- MUJICA-PAZ, H.; VALDEZ-FRAGOSO, A.; LÓPEZ MALO, A.; PALOU, E. y WELTI-CHANES, J., (2003 a) Impregnation of some fruits at vacuum pressure. *Journal of Food Engineering* 56, 307-314.
- POINTING, J.D.; WATTERS, G.G.; FORREY, R.R.; JACKSON, R. y STANLEY, W.L., (1966) Osmotic dehydration of fruits, *Food Technology*, 20, 125.
- RAMALLO, L.; SCHVEZOV, C. y MASCHERONI, R., (2002) Transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de ananá: un modelo matemático sencillo, tesis de maestría, Universidad Nacional de Misiones.
- RAOULT-WACK, A. L.; LAFONT, F.; RÍOS, G. y GUILBERT, S., (1989) Osmotic dehydration: Study of mass transfer in terms of engineering properties. En: Mujumdar, A.S. y Roques, M. (ED). *Drying '89*. New York, USA: Hemisphere Publ. Corp., 487-495.
- TORREGGIANI, D., (1993) Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International* 26: 59-68.

Flujos magnetohidrodinámicos axisimétricos con conductividad finita.

Parte I. Geometría esférica.

Néstor O. Rotstein

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires
Medrano 951 (C1179AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
nrotstein@cedi.frba.utn.edu.ar

Recibido el 31 de Mayo de 2011, aprobado el 15 de Julio de 2011

Resumen

En este trabajo analizamos flujos magnetohidrodinámicos salientes, rotantes, estacionarios, axisimétricos, en geometría esférica, suponiendo no nula la resistividad del plasma que, por lo demás, se encuentra congelado a un campo magnético de líneas parcialmente abiertas. La colimación del flujo es una condición previa, pues de hecho analizamos estructuras generales que suponemos funcionalmente de variables separadas y con una particular dependencia angular. Se hallan todas las soluciones que autoconsistentemente soportan el flujo, con la casi exclusiva condición de que el flujo sea colimado. Se muestra que, dentro de este contexto, la deflexión de las líneas de campo magnético se asocia a un parámetro de curvatura. Se escriben también las ecuaciones de las componentes de la velocidad del flujo y de la distribución de masa, cuya dependencia angular muestra que se acumula en el ecuador, precisamente en la zona sin viento. Se muestra que, a diferencia de los modelos con conductividad infinita, las isosuperficies de flujo másico no coinciden con las isosuperficies de flujo magnético. Este trabajo forma parte del proyecto UTN-FRBA/1234 "Detección remota y análisis de cambio de patrones de radiación medioambientales"

PALABRAS CLAVE: MHD – PLASMAS – RESISTIVIDAD – FLUJO MÁSIKO

Abstract

In this paper we analyze magnetohydrodynamic, rotating, stationary axisymmetric outflows, in spherical coordinates, assuming finite conductivity of the outflowing plasmas, for all purposes embedded and freeze in partially open magnetic fields. The field collimation is a previous condition, because in fact we study general structures that are formally assumed as separated variables functions and with a given angular dependence. We find all the possible outflowing solutions, with the only condition of the collimation of the flux. Within this framework, the magnetic field deflection is related to a curvature parameter. We find also the expressions of the velocity field components as well as the mass distribution function, which angular dependence shows an equatorial enhancement, precisely in the quiet zone of the wind. We show that, unlike infinite conductivity models, magnetic flux isosurfaces are not aligned with mass flux function isosurfaces. This paper belongs to UTN-FRBA/ 1234 project "Remote detection and change analysis of environmental radiation patterns."

KEYWORDS: MHD – PLASMAS – RESISTIVITY – MASS FLUX

Introducción

En muchas de las modelizaciones de los diversos fenómenos que estudia la Física se invoca algún particular grupo de simetrías. Las ventajas que presentan los fenómenos que pueden estudiarse de esta forma son muchas, sobre todo porque suponen una primera integral del movimiento y, por lo demás, ofrecen en general la posibilidad de mantener el problema en un nivel matemático a la vez riguroso, elegante y tratable.

En este trabajo estamos interesados en estudiar flujos magnetizados de resistividad no nula que muestran simetría de rotación alrededor de un eje, es decir, flujos magnetohidrodinámicos axisimétricos, en los que la coordenada ignorable es el ángulo azimutal Φ (y, en consecuencia, las ecuaciones de movimiento no pueden depender de esa coordenada y el momento angular alrededor del eje polar es una constante de movimiento).

Tengamos presente que axisimetría no implica necesariamente simetría cilíndrica. Una estrella, por ejemplo, es un objeto autogravitante que a primer orden puede considerarse simétrico según su rotación alrededor del eje que pasa por sus polos, es decir, la coordenada azimutal es ignorable, pero claramente se trata de un objeto "esférico". Las máquinas de fusión (*tokamaks* y *spheromaks*), así como los arcos coronales, los filamentos o los jets de diferentes objetos astrofísicos, son sistemas en los que el flujo posee básicamente simetría cilíndrico-anular, es decir, una suerte de cilindro cerrado en forma de circunferencia. Dejando de lado por el momento, los *tokamaks* (en los que el intenso campo magnético requerido para confinar el plasma es generado por bobinados externos) el resto de los sistemas mencionados puede pensarse como configuraciones magnetohidrodinámicas en las que las dos componentes del campo magnético, la poloidal y la toroidal, son generadas por las mismas corrientes de plasma vía efecto dínamo. El campo magnético generado se "congela" al plasma y lo confina, induciendo más corriente, que a su vez refuerza el campo magnético.

A escala estelar los plasmas también se "congelan" al campo magnético, lo "estiran" y eventualmente rompen las líneas de campo, pero las rápidas rotaciones marcan una característi-

ca esencial: los flujos se coliman hacia los polos, y en esas regiones escapan, provocando la persistente pérdida de masa de la estrella y, de esta manera, gobernando sus tiempos evolutivos.

En esta primera parte del trabajo abordaremos el problema de los plasmas de resistividad no nula en coordenadas esféricas. Las configuraciones esféricas están relacionadas con las envolturas estelares o con las ionósferas de las atmósferas planetarias, y en este caso nos interesa estudiar la expansión de la atmósfera exterior, es decir, los procesos de pérdida de masa. La primera evidencia observacional de un proceso de eyección de masa en una estrella (Deutsch, 1956) movió el interés por los procesos de escape de flujo en las atmósferas de diferentes objetos, entre ellos, naturalmente, el de la atmósfera solar. El viento solar fue extensamente tratado desde el trabajo clásico de Parker (1958) que describe la expansión unidimensional de un fluido (no magnetizado) con un punto crítico que corresponde, en este caso, a ondas sónicas. Diferentes autores, desde entonces, han prestado atención a los procesos de eyección de masa en objetos de tipo solar (de la extensísima bibliografía rescataremos aquí apenas los trabajos clásicos y pioneros de Lucy y Solomon, 1970; Castor, Abbott y Klein, 1975; Casinelli, 1979; Sakurai, 1990) en atmósferas de estrellas de tipo temprano (Hearn, 1975; Mihalas y Conti, 1980; Friend y MacGregor, 1984; Tsinganos y Trussoni, 1991; Rotstein y Ferro Fontán, 1995; Rotstein y Giménez de Castro, 1996; Lima et al, 2001; Sauty et al, 2002; Holzwarth, 2005) en púlsares (Ray, 1980; Beskin, Gurevich e Istomin, 1986; Bucciantini, Amato y Del Zanna, 2005; Contopoulos, 2007) e incluso en jets extragalácticos (Chiuderi, Pietrini y Torricelli – Ciamponi, 1989; Corbelli y Torricelli-Ciamponi, 1990; McCarthy et al, 1997; Dubois y Teyssier, 2010).

Mihalas y Conti (1980) sugirieron desde un principio que los valores de los campos magnéticos estelares capaces de interactuar con el plasma saliente, y eventualmente gobernar el flujo, estarían muy por debajo de los valores necesarios para ser detectados observacionalmente vía efecto Zeeman. Este es un ingrediente más que se agrega a las dificultades que plantea el tratamiento teórico de un viento magnetizado proveniente de un objeto en rotación. Tal vez por esta razón, más allá del

tratamiento general de Tsinganos (1982) o la brillante formulación de Heyvaerts y Norman (1989, 2003) y su extensión relativista (Chiueh, Li y Begelman, 1991) pocos trabajos teóricos (Weber y Davies, 1967; Pneumann y Kopp, 1972; Tsinganos, Trussoni y Sauty, 1993; Rotstein y Ferro Fontán, 1995,a, b; Preuss et al, 2004) o numéricos (Sakurai, 1990; Vilkoviskij y Tambovtseva, 1992; Okamoto, 1975 y 2003) han sido propuestos. De hecho, la gran mayoría de estos trabajos apela al tratamiento de simetría de rotación en atmósferas esféricas, donde se consideran plasmas de conductividad infinita. La ruptura de la hipótesis de esfericidad en los vientos estelares recién aparece en el modelo computacional numérico de Sakurai (1990) y en la teoría desarrollada por Rotstein y Ferro Fontán (1995, b) en la que la hipótesis de oblicuidad permite reproducir con mayor precisión la marcha de temperatura en las atmósferas de objetos tempranos, transformándolas en atmósferas más estables cuyo tiempo de vida medio en secuencia principal, por consiguiente, sería más largo de lo que sugiere el tratamiento general. Sin embargo, en este tipo de tratamientos se trabaja siempre con plasmas de conductividad infinita, y bien vale la pena analizar cuáles son las consecuencias inmediatas que se derivan de abandonar esta hipótesis. En primer lugar, y aunque nosotros no habremos de hacerlo en este trabajo, porque a la hora de computar la marcha de temperatura en las atmósferas bajo estudio estamos agregando un fenómeno más, es decir una fuente más, por lo que necesariamente habrán de modificarse los mecanismos de intercambio de calor a lo largo de la región de expansión del viento. En segundo lugar, porque en todo caso se trata de una aproximación más confiable a un modelo más general de envoltura. Y en tercer lugar, aunque no por ello menos importante, porque el análisis (como mostraremos en el desarrollo) permite descartar cierto tipo de estructuras magnéticas que, sin resistividad, serían sin embargo aceptables.

En este artículo habremos de concentrarnos en los flujos axisimétricos con conductividad finita con simetría esférica, dejando para un próximo artículo (Rotstein, 2011b) la axisimetría en coordenadas cilíndricas. Para ello, en la siguiente sección presentamos la formulación del problema, luego abordamos el tratamiento matemático mientras que dejamos para el final el análisis de las implicaciones de esta formula-

ción y la discusión de sus resultados.

Tratamiento general

Las ecuaciones magnetohidrodinámicas que gobiernan la evolución estacionaria de fluidos de conductividad σ (o, equivalentemente, resistividad η), compresibles, magnetizados, sin viscosidad, en presencia de un campo gravitatorio, independientemente de la geometría propia del fenómeno, se escriben como

$$1) \nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$2) \nabla \cdot \rho \mathbf{v} = 0$$

$$3) \nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{B} - \eta \mathbf{j}) = 0$$

$$4)$$

$$\rho (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\nabla P + \frac{1}{\mu_0} (\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B} - \rho g \mathbf{e}_r$$

donde, como es habitual, ρ representa la densidad volumétrica de masa, \mathbf{v} el campo de velocidades, \mathbf{B} el campo de inducción magnética, g la aceleración gravitatoria generada por una fuente externa, P representa la presión del fluido y $\eta = 1/\sigma$ la resistividad intrínseca del plasma.

Eventualmente, las ecuaciones (1)-(4) se cierran con una ecuación de balance termodinámico, que no hemos incluido porque la distribución de fuentes de calor que de manera consistente cierra el sistema de ecuaciones MHD no forma parte de este estudio.

Es fácil ver que en coordenadas esféricas, con simetría axial, el flujo magnético y el flujo másico, representados por las expresiones (1) y (2), pueden escribirse en las formas

$$5) \mathbf{B} = \frac{1}{r \sin \theta} \nabla A(r, \theta) \times \mathbf{e}_\theta + B_\theta \mathbf{e}_\theta$$

$$6)$$

$$\rho \mathbf{v} = \frac{1}{r \sin \theta} \nabla \psi(r, \theta) \times \mathbf{e}_\theta + \rho v_\theta \mathbf{e}_\theta$$

donde hemos introducido la función de flujo magnético $A(r, \theta)$ (la simetría de rotación, esto es, en la coordenada Φ , lleva a que la función A sólo dependa de las coordenadas r y θ) que gobierna la existencia de superficies de flujo

magnético, y la función de flujo másico $\psi(r,\theta)$ con un significado funcional similar al flujo magnético. Obsérvese que la función de flujo magnético $A(r, \theta)$ es constante sobre cada superficie de flujo (o sea, define las isosuperficies de flujo magnético) y describe el flujo poloidal entre las diferentes superficies.

En general, la elección de la función de flujo magnético se realiza en función de la estructura magnética que se desea obtener. Por ejemplo, los campos magnéticos de estructuras esféricas tales como estrellas o planetas son globalmente dipolares, colimados por el arrastre del plasma congelado al campo (o el campo congelado al plasma, como se prefiera). El mismo campo magnético terrestre es muy aproximadamente dipolar, pero se ve "achataado" en el frente y alargado en la parte posterior debido a su interacción con el viento solar. Lo usual, entonces, es elegir la función flujo magnético en la forma

$$7) A(r, \theta) = \mathcal{W}(r) \text{sen}^2 \theta$$

que, además de su sencillez, posee la enorme virtud de separar variables, y a partir de las ecuaciones (5) y (7) escribir las componentes poloidales del campo magnético en las formas

$$8) B_r = \frac{1}{r^2 \text{sen} \theta} \frac{\partial A}{\partial \theta} = \frac{2\mathcal{W}}{r^2} \cos \theta$$

$$9) B_\theta = -\frac{1}{r \text{sen} \theta} \frac{\partial A}{\partial r} = -\frac{\mathcal{W}'}{r} \text{sen} \theta$$

donde hemos indicado la derivación en la dirección radial primando la función $\mathcal{W}(r)$. La correcta modelización de la estructura magnética pertinente depende ahora de la elección de la función $\mathcal{W}(r)$. Por ejemplo, la elección

$$10) \mathcal{W}(r) = \mathcal{W}_0 \left(\frac{\lambda}{r} + a + b \ln \left(\frac{r}{r_0} \right) \right)$$

donde \mathcal{W}_0 , λ , a , y b son constantes y r_0 una distancia particular introducida para adimensionalizar la distancia radial, genera configuraciones que simulan las estructuras magnéticas estelares típicas de flujos salientes colimados, es decir, vientos colimados (una discusión detallada al respecto puede hallarse en Heyvaerts

y Norman, 1989; Tsinganos y Trussoni, 1991). Obsérvese que la forma (10) genera un campo magnético poloidal cuyas componentes adoptan las formas

$$11) B_r = \frac{2\mathcal{W}_0}{r^2} \left(\frac{\lambda}{r} + a + b \ln \left(\frac{r}{r_0} \right) \right) \cos \theta$$

$$12) B_\theta = \frac{\mathcal{W}_0}{r^2} \left(\frac{\lambda}{r} - b \right) \text{sen} \theta$$

en las que el término asociado a la constante λ es el dipolar, superpuesto a un campo potencial radial (asociado al coeficiente a) en tanto que el factor b representa el término de colimación polar. Las formas (11) y (12) pueden redefinirse respecto a la distancia radial definiendo la distancia adimensionalizada $x = r/r_0$, en cuyo caso las dos últimas expresiones resultan

$$11') B_r = \frac{2\mathcal{W}_0}{x^2 r_0^2} \left(\frac{\lambda}{x r_0} + a + b \ln(x) \right) \cos \theta$$

$$12') B_\theta = \frac{\mathcal{W}_0}{x^2 r_0^2} \left(\frac{\lambda}{x r_0} + b \right) \text{sen} \theta$$

Rotstein y Ferro Fontán, (1995, a), reemplazan los últimos dos términos de la expresión (11') por uno único de la forma kx^q , $0 \leq q \leq 2$. En este caso se gana en sencillez y simetría, y las ecuaciones de las líneas de campo

$$13) \frac{dr}{B_r} = r \frac{d\theta}{B_\theta}$$

en las condiciones de las expresiones (8) y (9) conducen a la forma

$$14) -dx \frac{\mathcal{W}'}{\mathcal{W}} = 2 \cot g \theta d\theta$$

Para $\mathcal{W} = \mathcal{W}_0 (\lambda/r_0 x + kx^q)$ la expresión de las líneas de campo resulta en la ecuación

$$15) \frac{\epsilon - qkx^q}{\epsilon + kx^{q+1}} dx = 2 \cot g \theta d\theta$$

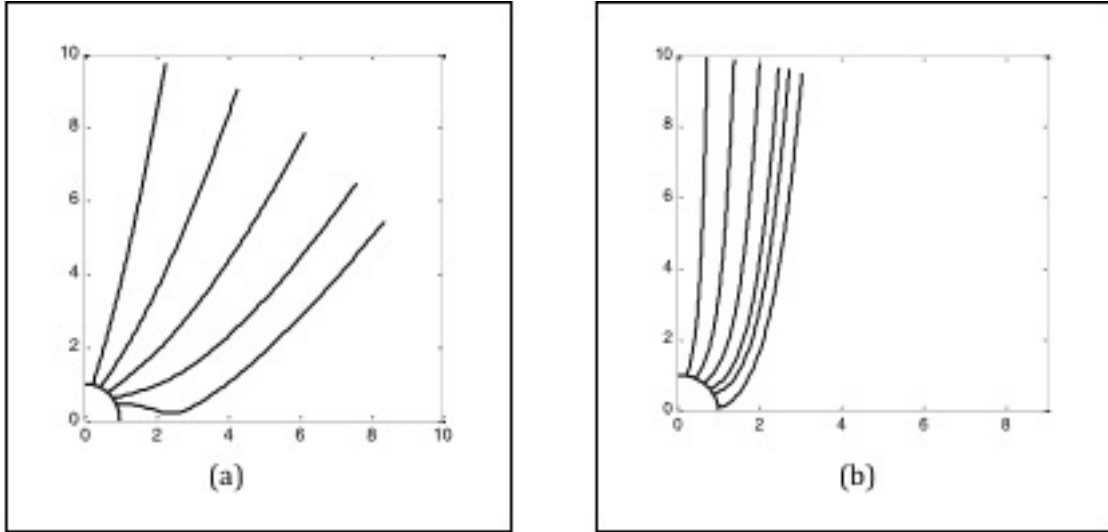


Fig. 1. Líneas de campo magnético colimado hacia el polo de un objeto esféricamente simétrico central (obsérvese que en este caso r_0 es el radio del objeto) en términos de la ecuación (15). En el caso (a) se ha tomado $\varepsilon=2$, $k=q=1$; el caso (b) corresponde a $\varepsilon=2$, $k=1$, $q=1,5$

donde hemos definido la cantidad adimensional $\varepsilon = \lambda/r_0$. En la fig. 1 mostramos para ulterior comparación las estructuras colimadas que se obtienen con la expresión (15) para diferentes valores de los parámetros involucrados.

En todos los casos a los que estamos haciendo referencia el campo magnético se modeliza e impone *a priori* y las ecuaciones magnetohidrodinámicas se cierran autoconsistentemente con un conjunto mínimo de hipótesis adicionales, como por ejemplo, que la conductividad del plasma es infinita. En este trabajo hemos de operar al revés, esto es, hemos de asumir que el plasma tiene resistividad no nula y buscaremos la forma funcional de la función W que cierra autoconsistentemente el problema, con una inevitable condición de contorno: el campo poloidal debe estar colimado.

Desarrollemos la expresión (3). Dado que la densidad de corriente se escribe como

$$16) \mathbf{j} = \frac{\nabla \times \mathbf{B}}{\mu_0} =$$

$$\frac{1}{\mu_0} \nabla \times \left(\frac{1}{r \sin \theta} \nabla A(r, z) \times \mathbf{e}_\theta + B_\theta \mathbf{e}_\theta \right)$$

podemos escribir las tres componentes de la densidad de corriente en la forma

$$17) j_r = \frac{1}{\mu_0 r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} (B_\theta \sin \theta)$$

$$18) j_\theta = -\frac{1}{\mu_0 r} \frac{\partial}{\partial r} (r B_\theta)$$

$$19) j_\phi = \frac{1}{\mu_0 r} \left[\frac{\partial}{\partial r} (r B_\theta) - \frac{\partial B_r}{\partial \theta} \right]$$

Definamos ahora las cantidades

$$20) \beta = \frac{x B_\theta \sin \theta}{r_0}$$

$$21) W = \frac{W}{r_0^2}$$

$$22) \frac{\partial}{\partial r} = \frac{1}{r_0} \frac{\partial}{\partial x}$$

Es fácil ver que en términos de estas cantidades las ecuaciones (17) – (19) resultan

$$23) j_r = \frac{1}{\mu_0 x^2 \sin \theta} \frac{\partial \beta}{\partial \theta}$$

$$24) j_\theta = -\frac{1}{\mu_0 x \sin \theta} \frac{\partial \beta}{\partial x}$$

$$25) \quad j_\theta = \frac{1}{\mu_0 r_0 x} \left[\frac{2W}{x^2} - W'' \right] \text{sen } \theta$$

donde ahora la derivación se efectúa respecto a la distancia adimensionalizada x . Regresemos a la expresión (3) para escribirla en la forma

$$26) \quad \mathbf{v} \times \mathbf{B} - \eta \mathbf{j} = \nabla \phi$$

Parece inmediato que es lo mismo que escribir

$$27) \quad \eta (\mathbf{j} \cdot \mathbf{B}) + \mathbf{B} \cdot \nabla \phi = 0$$

$$28) \quad \phi(x, \theta) = F(x) \cos \theta$$

en cuyo caso la ecuación (27) se desarrolla como

$$29) \quad \frac{\eta}{\mu_0} \left[\frac{\partial \beta / \partial \theta}{x^2 \text{sen} \theta} \frac{2W \cos \theta}{x^2} + \frac{\beta'}{x \text{sen} \theta} \frac{W' \text{sen} \theta}{x} + \frac{\beta}{x^2} \left(\frac{2W}{x^2} - W'' \right) \right] + \frac{2WF'}{x^2} \cos^2 \theta + \frac{2WF'}{x^2} \text{sen}^2 \theta = 0$$

Definamos ahora una forma funcional para la función $\beta(x, \theta)$. Parece razonable pensar que la componente toroidal del campo magnético varíe como $\text{sen } \theta$, de manera tal que asumiremos

$$30) \quad \beta(x, \theta) = \beta_r(x) \text{sen}^2 \theta$$

A partir de esta hipótesis, parece evidente que la identidad (29) pasa a ser

$$31) \quad \frac{\eta}{\mu_0} \left[\frac{4W}{x^4} \beta_r \cos^2 \theta + \frac{\beta_r' W'}{x^2} \text{sen}^2 \theta + \frac{\beta_r}{x^2} \left(\frac{2W}{x^2} - W'' \right) \text{sen}^2 \theta \right] + \frac{2WF'}{x^2} \cos^2 \theta + \frac{2WF'}{x^2} \text{sen}^2 \theta = 0$$

Ahora bien, las identidades trigonométricas

$$32) \quad \cos^2 \theta = \frac{1}{2} (1 + \cos 2\theta)$$

$$33) \quad \text{sen}^2 \theta = \frac{1}{2} (1 - \cos 2\theta)$$

nos permiten separar la ecuación (31) en dos formas similares, a saber

$$34) \quad \left\{ \left[\frac{\eta}{\mu_0} \frac{4W}{x^4} \beta_r + \frac{2WF'}{x^2} \right] - \left[\frac{\eta}{\mu_0} \left(\frac{\beta_r' W'}{x^2} + \frac{\beta_r}{x^2} \left(\frac{2W}{x^2} - W'' \right) \right) + \frac{W'F}{x^2} \right] \right\} \cos 2\theta + \left\{ \left[\frac{\eta}{\mu_0} \frac{4W}{x^4} \beta_r + \frac{2WF'}{x^2} \right] + \left[\frac{\eta}{\mu_0} \left(\frac{\beta_r' W'}{x^2} + \frac{\beta_r}{x^2} \left(\frac{2W}{x^2} - W'' \right) \right) + \frac{W'F}{x^2} \right] \right\} = 0$$

Parece evidente que la única manera de satisfacer el desarrollo (34) es que cada uno de los corchetes dentro de cada llave se anule por separado, pues de otro modo no podrían ser ambas llaves nulas. Esto significa que obtenemos formalmente las relaciones

$$35) \quad F' = - \frac{\eta}{\mu_0} \frac{2\beta_r}{x^2}$$

$$36) \quad \frac{\eta}{\mu_0} \left(\beta_r' W' + \beta_r \left(\frac{2W}{x^2} - W'' \right) \right) +$$

$$W'F = 0$$

La expresión (35) conduce a una primera integral de la función de potencial eléctrico, a saber

$$37) \quad F = - \frac{2\eta}{\mu_0} \int \frac{\beta_r}{x^2} dx + C$$

en tanto que la expresión (36) lleva a la forma

$$38) \quad \frac{\eta}{\mu_0} (\beta_r' + \beta_r f(W)) + F = 0$$

donde hemos definido la función $f(W)$ como

$$39) \quad f(W) = \frac{\frac{2W}{x^2} - W''}{W'}$$

Podemos resolver formalmente la expresión (36) derivándola respecto a la variable x y utilizando la identidad (35) para el potencial $F(x)$. Al cabo de un álgebra decididamente sencilla obtenemos

$$40) \quad \frac{\eta}{\mu_0} (\beta''_r + \beta'_r f(W) + \beta_r f'(W)) - \frac{\eta}{\mu_0} \frac{2\beta_r}{x^2} = 0$$

que puede escribirse en la forma más compacta

$$41) \quad \beta''_r + \beta'_r f(W) + \beta_r \left[f(W) + \frac{2}{x} \right]' = 0$$

Obsérvese que todavía no disponemos de la forma funcional de $W(x)$, y de hecho sólo podremos obtener alguna forma si realizamos alguna hipótesis adicional sobre la función $\beta(x)$ para resolver la ecuación (41), algo que haremos en la próxima sección.

Campos resistivos sin componente toroidal de la fuerza de Lorentz

Que la componente toroidal de la fuerza de Lorentz se anule significa

$$42) \quad (\mathbf{j} \times \mathbf{B})_\phi = j_r B_\theta - j_\theta B_r = 0$$

expresión esta que a partir de las ecuaciones (8), (9), (23) y (24) puede escribirse sucintamente como

$$43) \quad \frac{\partial \beta}{\partial \theta} \frac{\partial A}{\partial x} - \frac{\partial \beta}{\partial x} \frac{\partial A}{\partial \theta} = 0 \equiv [\beta, A] = 0$$

Dado que hemos adoptado las formas funcionales $A = W(r) \sin^2 \theta$ y $\beta = \beta_r \sin^2 \theta$, parece evidente que la ecuación (43) impone la condición

$$44) \quad \beta_r(x, \theta) = b_0 W(x)$$

Por lo demás, la ecuación (41) impone un vínculo formal entre las funciones β_r y $W(x)$, de manera tal que la función $W(x)$ debe verificar la expresión

$$45) \quad W''' + W' f(W) + W \left[f(W) + \frac{2}{x} \right]' = 0$$

o, lo que es lo mismo

$$46) \quad W''' + [W f(W)]' - \frac{2}{x^2} W = 0$$

La ecuación (46) desarrollada resulta en la forma

$$47) \quad W' f(W) + W f'(W) = \frac{2}{x^2} W - W''$$

Pero la ecuación (39) define la relación entre $f(W)$ y W

$$48) \quad W' f(W) = \frac{2}{x^2} W - W''$$

de manera tal que debe cumplirse

$$49) \quad W f'(W) = 0 \implies f(W) = m \quad (m = \text{constante}; [m] = 1/r)$$

y la ecuación para $W(x)$ resulta

$$50) \quad W'' + m W' - \frac{2W}{x^2} = 0$$

Para hallar la solución de $W(x)$ proponemos

$$51) \quad W(x) = \sum_{n \geq 0} a_n x^{n+s}$$

de manera tal que después de pocos pasos rutinarios la ecuación (50) puede llevarse a la forma

$$52) \sum_{n \geq 0} (n+s)(n+s-1) a_n x^{n+s} + m \sum_{n \geq 0} (n+s) a_n x^{n+s+1} - 2 \sum_{n \geq 0} a_n x^{n+s} = 0$$

Obsérvese ahora que el término central puede cambiarse en la forma

$$53) m \sum_{n \geq 0} (n+s) a_n x^{n+s+1} = m \sum_{n \geq 1} (n+s-1) a_{n-1} x^{n+s}$$

$$54) \left\{ \sum_{n \geq 0} (n+s)(n+s-1) a_n + m \sum_{n \geq 1} (n+s-1) a_{n-1} - 2 \sum_{n \geq 0} a_n \right\} x^{n+s} = 0$$

Es evidente que el polinomio indicial para $n=0$ resulta en la ecuación

$$55) [s(s-1) - 2] a_0 = 0$$

que naturalmente lleva a los resultados $s_1 = -1$ y $s_2 = 2$.

Solución con $s = -1$

El término general a_n resulta de resolver la ecuación

$$56) \sum_{n \geq 0} [(n-1)(n-2) - 2] a_n + m \sum_{n \geq 1} (n-2) a_{n-1} = 0$$

Por simple inspección resulta evidente que a_0 es arbitrario, $a_1 = -ma_0/2$ y que a_2 es nulo. Luego, a_3 también es arbitrario y un álgebra más bien tediosa lleva a la forma del término general en función de a_3

$$57) a_n = \left\{ (-1)^{n+1} \frac{3! m^{n-3}}{n!} \right\} a_3 \quad n \geq 3$$

En consecuencia, la solución $W_1(x)$ resulta

$$58) W_1(x) = \frac{1}{x} \left\{ a_0 \left(1 - \frac{mx}{2} \right) + \sum_{n \geq 3} (-1)^{n+1} (n-2) \frac{3! m^{n-3}}{n!} a_3 x^n \right\}$$

Esta última ecuación puede llevarse a una forma más práctica abriendo la sumatoria en las dos sumas que involucra el paréntesis $(n-2)$

$$59) W_1(x) = \frac{a_0}{x} \left(1 - \frac{mx}{2} \right) + \frac{3! a_3}{x} \left[\sum_{n \geq 3} \frac{(-1)^{n+1}}{m^3} \frac{m^n}{n-1!} x^n - 2 \sum_{n \geq 3} \frac{(-1)^{n+1}}{m^3} \frac{m^n}{n!} x^n \right]$$

$$60) W_1(x) = \frac{a_0}{x} \left(1 - \frac{mx}{2} \right) + \frac{3! a_3}{x}$$

$$\left(\frac{x}{m^2} \sum_{n \geq 3} (-1)^{n-1} \frac{m^{n-1}}{n-1!} x^{n-1} \right) + \frac{2}{m^3} \sum_{n \geq 3} (-1)^n \frac{m^n}{n!} x^n$$

Ahora parece evidente que las sumas que aparecen en la ecuación (60) son exponenciales

$$61) \sum_{n \geq 3} (-1)^{n-1} \frac{m^{n-1}}{(n-1)!} x^{n-1} =$$

$$-1 + mx + e^{-mx}$$

$$62) \sum_{n \geq 3} (-1)^n \frac{m^n}{n!} x^n = -1 +$$

$$mx - \frac{m^2 x^2}{2} + e^{-mx}$$

de manera tal que la primera solución para $W(x)$ resulta

$$63) W_1(x) = \frac{a_0}{x} \left(1 - \frac{mx}{2}\right) +$$

$$\frac{3! a_3}{m^2} \left[e^{-mx} \left(1 + \frac{2}{mx}\right) + \left(1 - \frac{2}{mx}\right) \right]$$

Solución con $s = 2$

La ecuación a resolver es

$$64) \sum_{n \geq 0} [(n+1)(n+2) - 2] b_n +$$

$$m \sum_{n \geq 1} (n+1) b_{n-1} = 0$$

en la que se observa de manera inmediata que el término b_0 es arbitrario y que el término general resulta

$$65) b_n = (-1)^n \frac{3!(n+1)}{(n+3)!} m^n b_0$$

de manera tal que la solución W_2 , después de algunos pasos rutinarios, se escribe como

$$66) W_2(x) = 3! b_0 x^2 \left[\frac{e^{-mx}}{m^2 x^2} \left(1 + \frac{2}{mx}\right) + \frac{1}{m^2 x^2} - \frac{2}{m^3 x^3} \right]$$

Luego de algunas pocas y sencillas operaciones, la solución general buscada puede llevarse a la forma

$$67) W(x) = W_1(x) + W_2(x) =$$

$$A_0 e^{-mx} \left(1 + \frac{2}{mx}\right) + \frac{a_0}{x} \left(1 - \frac{mx}{2}\right) +$$

$$A_0 \left(1 - \frac{2}{mx}\right)$$

o, más sucintamente aún

$$68) W(x) = A_0 e^{-mx} \left(1 + \frac{2}{mx}\right) +$$

$$A_1 \left(\frac{m}{2} - \frac{1}{x}\right)$$

con

$$69.a) A_0 = \frac{3!}{m^2} (a_3 + b_0)$$

$$69.b) A_1 = 2 \frac{A_0}{m} - a_0$$

Es fácil comprobar que el campo (68) verifica la ecuación diferencial (50). Algunas soluciones son inmediatas, no todas físicamente aceptables en este contexto. Por ejemplo, si $m=0$ en la ecuación (50), el polinomio indicial es nuevamente el de la ecuación (55), pero ahora la función $W(x)$ es inmediata y resulta en las componentes poloidales de las ecuaciones (11) y (12) con $b=0$, o sea, reobtenemos el campo globalmente dipolar superpuesto a un campo potencial que varía como x^{-2} propuesto por Low y Tsinganos (1986). Esta situación puede también pensarse como el caso extremo $q=2$ en las ecuaciones (11') y (12') y que resulta en campos colimados como los de la figura 1(b).

El caso $A_1=0$ (la expresión (69.b) muestra que siempre es posible tal elección) conduce a líneas de campo colimadas en el caso $m<0$ y deflectadas al ecuador (cerradas sobre la región sin viento) si $m>0$. Pero el primer caso, que es el único que muestra algún interés teórico, lleva a componentes poloidales del campo que crecen sin límite, una situación verdaderamen-

te inaceptable. Luego, parece razonable que la solución general, numérica, sea de interés y físicamente plausible en el caso de ecuaciones completas con $m > 0$. Para hallar estas soluciones, obsérvese que la ecuación de las líneas de campo, que ya escribimos en la ecuación (13),

$$70) \quad \frac{dx}{B_r} = x \frac{d\theta}{B_\theta}$$

para la forma $W(x)$ dada por la ecuación (68) y teniendo en cuenta las formas generales de las componentes del campo

$$B_r = \frac{2W}{x^2} \cos \theta$$

$$B_\theta = -\frac{W'}{x} \sin \theta$$

resulta en la ecuación

$$71) \quad \int \frac{mA_0 \left(1 + \frac{2}{mx} + \frac{2}{(mx)^2}\right) e^{-mx} - \frac{A_1}{x^2}}{A_0 \left(1 + \frac{2}{mx}\right) e^{-mx} + A_1 \left(\frac{m}{2} - \frac{1}{x}\right)} dx = \ln \sin^2 \theta + C$$

en la que ya hemos integrado la parte angular. En la fig. 2 mostramos algunos resultados de la integración de la ecuación (71). En los primeros tres casos hemos tomado $A_0=A_1=1$ a los efectos de analizar sólo el rol del parámetro m en la colimación del viento. Es notable que para $m=0.5$ las líneas no coliman sino que, por el contrario, tienden a cerrarse sobre el ecuador, en tanto que para $m \geq 1$ la tendencia a la colimación es evidente. Téngase en cuenta que hemos simplificado la tarea tomando las dos constantes arbitrarias iguales a la unidad, aunque, por su carácter arbitrario, hay tantos como se deseen. Ya hemos dicho que el caso $A_1=0$ lleva a soluciones físicamente inaceptables, y es fácil ver que si tomamos $A_0=0$ la ecuación (71) (que en tal caso puede integrarse fácil y analíticamente) conduce inmediatamente a las soluciones que mostramos en la fig. 2(d). La única condición es que las líneas conecten al objeto central en la base del viento, de manera tal que debe ser $m > 2$.

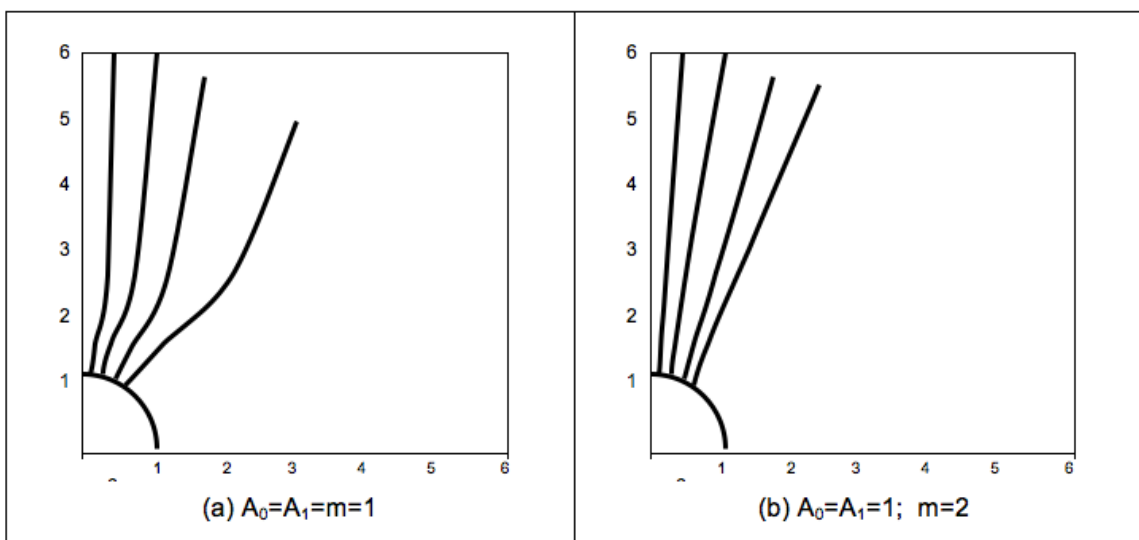


Fig. 2. (inicio) Líneas de campo magnético que surgen de la ecuación (71).

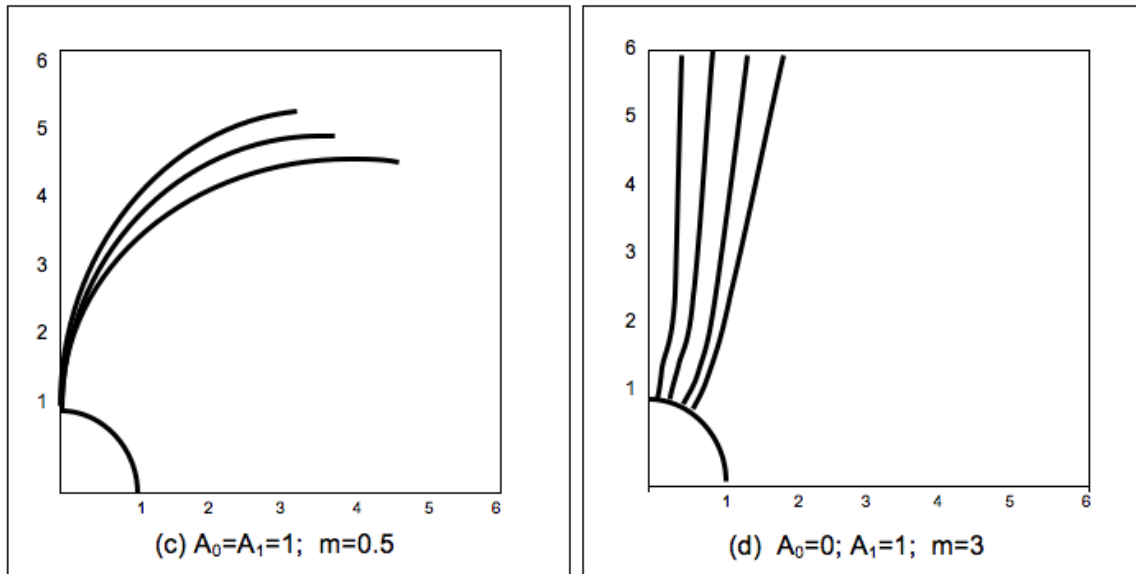


Fig. 2. (continuación) Líneas de campo magnético que surgen de la ecuación (71) para diferentes valores del parámetro m y de los coeficientes A_0 y A_1 . Parece evidente que para $0 < m < 1$ las líneas de campo no coliman (figura c), en tanto que la tendencia a la colimación para $m \geq 1$ pareciera agudizarse con el incremento del parámetro m .

Análisis y conclusiones

En este artículo hemos analizado el flujo estacionario de fluidos magnetizados con conductividad finita. Para ello, hemos escrito las ecuaciones completas y hemos hallado la forma de las estructuras magnéticas que autoconsistentemente soportan ese flujo. En este punto vale la pena detenerse para hacer un par de comentarios. En primer lugar, si bien las soluciones admiten curvaturas arbitrarias, las únicas admisibles son aquellas en las que el parámetro m es positivo, pues de otra manera produce estructuras magnéticas poloidales divergentes. Más aún, este parámetro parece tener un valor límite (de hecho, cercano a la unidad) por debajo del cual no provoca flujos polares abiertos y salientes sino que el flujo se cierra en la zona ecuatorial. Por el otro lado, es necesario notar que aunque las soluciones tipo viento halladas dependen de sólo dos constantes arbitrarias (además del parámetro de curvatura, m) estas constantes admiten en principio un número ilimitado de combinaciones posibles, no todas resolubles, no todas aceptables. En tal sentido basta escribir las ecuaciones que definen a las variables del flujo que no hemos considerado hasta aquí, a saber, las componentes de la velocidad del viento y la distribución de masa en el flujo.

Para hacerlo, notemos que de la ecuación (2) de conservación de la masa se deduce de manera inmediata

$$72) \quad \nabla(\rho v) = 0 \Rightarrow \begin{cases} v_r = \frac{\partial \psi / \partial \theta}{\rho x^2 \text{sen} \theta} \\ v_\theta = -\frac{\partial \psi / \partial x}{\rho x \text{sen} \theta} \end{cases}$$

Por su lado, la componente azimutal de la ecuación (3) conduce naturalmente a una relación definida entre la velocidad y el campo poloidales y la componente toroidal de la corriente en la forma

$$73) \quad v_r B_\theta - v_\theta B_r = \eta j_\phi$$

En la ecuación (19) hemos establecido el valor de j_ϕ en términos del campo B , de manera tal que combinado las expresiones (8), (9), (19), (72) y (73) obtenemos

$$74) \quad \frac{\partial \psi / \partial \theta}{\rho x^2 \text{sen} \theta} = \frac{\partial \psi / \partial x}{\rho x \text{sen} \theta} \frac{2W}{W'x} \cotg \theta + \alpha(x)$$

donde hemos introducido la función $\alpha(x)$ definida en la forma

$$75) \alpha(x) = \eta \frac{j_\phi}{B_\theta} = -\frac{\eta}{\mu_0} f(W)$$

con $f(W)$ definida en la ecuación (39). Ahora bien, si reordenamos la ecuación (74) podemos expresar la densidad de masa en la forma

$$76) \rho(x, \theta) = \frac{1}{\alpha(x) x^2 \operatorname{sen} \theta} \left[\frac{\partial \psi}{\partial \theta} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{2W}{W'} \cotg \theta \right]$$

Parece evidente la conveniencia de que la función de flujo másico dependa del ángulo polar como $\operatorname{sen} 2\theta$, de la misma manera en que lo hace la función de flujo magnético. Sin embargo, podemos ver rápidamente que ahora las isosuperficies de flujo y de masa no están alineadas como en el caso de conductividad infinita (para un análisis completo de esta alineación véase, por ejemplo, Tsinganos 1982). Y por supuesto, las constantes de la función $W(x)$ ya no pueden ser absolutamente libres porque podrían provocar densidades de masa negativas.

Prestemos ahora atención a las componentes de la velocidad. La componente azimutal de la ecuación (4) se escribe como

$$77) \rho \left[v_r \frac{\partial v_\phi}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_\phi}{\partial \theta} + \frac{v_\phi}{r} (v_r + v_\theta \cotg \theta) \right] = \frac{1}{\mu_0} [(\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B}]_\phi$$

que en términos de las expresiones (17) a (19) de las componentes de la corriente, las componentes (72) de las velocidades y la expresión (76) de la densidad másica puede escribirse sucintamente como

$$78) [\omega, \psi] = \frac{1}{\mu_0} [\beta, A]$$

donde la cantidad ω se define como

$$79) \omega = x v_\phi \operatorname{sen} \theta$$

y hemos utilizado la notación

$$80) [G, H] = \frac{\partial G}{\partial x} \frac{\partial H}{\partial \theta} - \frac{\partial G}{\partial \theta} \frac{\partial H}{\partial x}$$

Con la notación introducida, y teniendo en mente la expresión (78), es fácil ver que si ahora usamos la ecuación (73) podemos escribir

$$81) [\psi, A] = \eta j_\phi \rho x^3 \operatorname{sen} \theta$$

que sólo se anula en el caso $\eta=0$, con lo cual queda demostrado que las isosuperficies de flujo magnético y flujo másico, en este caso, no coinciden.

No hemos discutido la energética del flujo porque centramos el interés en las estructuras que sostienen el viento. Obsérvese que desde esta perspectiva hemos establecido la topología de los "canales" de flujo sin pretender analizar los mecanismos que lo gobiernan. Sin embargo, no está de más recalcar que en este contexto la energética del viento podría estar cogobernada por la estructura del campo, pues de hecho tendríamos que incluir disipación resistiva en las ecuaciones de energía. Ni falta hace decirlo, toda modificación de la estructura de campo magnético modifica la dinámica del flujo.

Asimismo, es necesario recordar que en este contexto la estructura magnética depende de demasiadas constantes que no hemos anulado sino resumido en otras dos más sencillas. A pesar de estas dificultades, queda claro que el campo hallado es importante en sí mismo y por derecho propio, en primer lugar porque introduce por vez primera una manera de tratar plasmas de resistividad no nula y en segundo lugar porque, en líneas generales, indica la forma funcional de las estructuras magnéticas que debemos esperar dentro de esta modelización de flujos. Desde ya, nuevos esfuerzos serán necesarios para tratar las partes que aquí no hemos discutido y, por otro lado, introducir nuevas geometrías.

Referencias

- BESKIN, V.; GUREVICH, A. y ISTOMIN, Y., (1986) *Soviet Phys*, 29, 946.
- BUCCIANTINI, N; AMATO, E; DEL ZANNA, L., (2005) *Astron. Astrophys*, 434, 189
- CASTOR, J.; ABBOTT, D. y KLEIN, R., (1975) *Astrophys. J*, 195, 157.
- CASINELLI, J., (1979) *Annual Review Astron. Astrophys*, 17, 275.
- CHIUDERI, C.; PIETRINI, P.; TORRICELLI-CIAMPONI, G., (1989) *Astrophys. J*, 339, 70.
- CHIUEH, T.; LI, Z. y BEGELMAN, M., (1991) *Astrophys. J*, 377, 462.
- CONTOPOULOS, I., (2007) *Astron. Astrophys*, 472, 219.
- CORBELLI, E.; TORRICELLI-CIAMPONI, G., (1990) *Phys. Fluids B*, 2, 828.
- DEUTSCH, A., (1956) *Astrophys. J*, 123, 210.
- DUBOIS, Y. y TEYSSIER, R., (2010) *Astron. Astrophys*, 523, 72.
- FRIEND, B. y MACGREGOR, K. (1984) *Astrophys. J*, 282, 591.
- HEARN, A. (1975) *Astron. Astrophys*, 40, 335.
- HEYVAERTS, J. y NORMAN, C., (1989) *Astrophys. J*, 347, 1055.
(2003) *Astrophys. J*, 596, 1270.
- HOLZWARTH, V., (2005) *Astron. Astrophys*, 440, 411.
- LIMA, J.; PRIEST, E. y TSINGANOS, K., (2001) *Astron. Astrophys*, 371, 240.
- LOW, B. y TSINGANOS, K., (1986) *Astrophys. J*, 302, 163.
- LUCY, L. y SOLOMON, P., (1970) *Astrophys. J*, 159, 879.
- MCCARTHY, J.; KUDRITZKI, R.; LENNON, D.; VENN, K. y PULS, J., (1997) *Astrophys. J*, 482, 757.
- MIHALAS, D. y CONTI, P., (1980) *Astrophys. J*, 235, 515.
- OKAMOTO, I., (1975) *MNRAS*, 173, 357.
- OKAMOTO, I., (2003) *Astrophys. J*, 589, 671.
- PARKER, E., (1958) *Astrophys. J*, 128, 664.
- PNEUMANN, G. y KOPP, R., (1972) *Solar Phys*, 18, 258.
- PREUSS, O.; HOLZWARTH, V.; SOLANKI, S. y SCHÜSSLER, M., (2004) *Astron. Astrophys*, 417, 987.
- RAY, A. (1980) *Phys. Fluids*, 23, 898.
- ROTSTEIN, N. y FERRO FONTÁN, C., (1995 a) *Astrophys. J*, 449, 745.
- ROTSTEIN, N. y FERRO FONTÁN, C., (1995 b) *Astrophys. J*, 449, 764.
- ROTSTEIN, N. y GIMÉNEZ de CASTRO, G., (1996) *Astrophys. J*, 464, 859.
- SAKURAI, T., (1990) *Comp. Phys. Rep*, 12, 247.
- SAUTY, C., TSINGANOS, K. y TRUSSONI, E., (2002) *Astron. Astrophys*, 389, 1068.
- TSINGANOS, K., (1982) *Astrophys. J*, 252, 775.
- TSINGANOS, K. y TRUSSONI, E., (1991) *Astron. Astrophys*, 231, 270.
- TSINGANOS, K.; TRUSSONI, E. y SAUTY, C., (1993) en *Physics of solar and stellar coronae*, ed J.F. Linsky y S. Serio (Dordrecht: Kluwer), 615.
- VILKOVISKIJ, E. y TAMBOVTSEVA, I., (1992) *Astron. Astrophys Sup. Series*, 94, 109.
- WEBER, E. y DAVIES, J., (1967) *Astrophys. J*, 148, 217.

Prácticas de ordenamiento urbano-territorial desde el urbanismo alternativo; relevancia para la formación del Ingeniero Civil

José Luis Verga, Alicia Irene Bugallo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires,
Departamento de Ingeniería Civil, Mozart 2300 (C1407IVT)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
arqjlv@yahoo.com.ar

Recibido el 4 de Julio de 2011, Aprobado el 18 de Julio de 2011

Resumen

El trabajo muestra algunas aproximaciones a la perspectiva socio-ambiental tal como fueron presentadas en el contexto de la asignatura 'Diseño Arquitectónico, Planeamiento y Urbanismo II', del quinto nivel curricular en la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Regional Buenos Aires, UTN. A partir del trabajo teórico y práctico, los estudiantes encararon las diferentes dimensiones de una hipotética 'aldea abierta', considerando, entre otras, la evaluación de impacto ambiental y de impacto territorial, criterios de urbanismo y la integración con maronitas, mapuches y rastafaris.

PALABRAS CLAVE: INGENIERÍA CIVIL - FORMACIÓN SOCIO-AMBIENTAL - EVALUACIÓN DE IMPACTO TERRITORIAL - TRABAJO INTERDISCIPLINARIO

Abstract

The work shows some approaches to the social-environmental perspective as presented on the context of 'Architectural Design, Planning and Urbanism II', fifth level of Civil Engineering curriculum, Buenos Aires Regional Faculty, National Technological University. From the theoretical and practical working, students faced different dimensions of a hypothetical 'open village', considering environmental and territory impact assessments, criteria of urbanism and the integration with maronitas, mapuches and rastafaris, within others.

KEYWORDS: CIVIL ENGINEERING - SOCIAL-ENVIRONMENTAL TRAINING - TERRITORY IMPACT ASSESSMENT - INTERDISCIPLINARY WORKING

Introducción

Partimos de la asignatura *Diseño Arquitectónico, Planeamiento y Urbanismo II* (en adelante *DAPyU II*), correspondiente al quinto nivel de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional (a cargo del Prof. Arq. José Luis Verga). Sus contenidos responden a distintos ejes temáticos, tales como: Evolución de la Ciudad; Aglomeraciones humanas – Clasificación – Topologías; Urbanismo – Urbanización – Urbanificación; Plaza Cívica – Centro Cívico; Planeamiento – Región – Planes – Transporte; Impacto Ambiental – Impacto Territorial; Indicadores – Huella Ecológica – Capacidad de Carga; Socio-política vinculada al Ambiente; Evaluación de Obras Complejas; Metodología para la Detección de un Sistema Urbano y de Planeamiento; Diseño de Proyectos Complejos (Verga, 2010).

Las clases teóricas introducen al estudiante en problemáticas urbano-arquitectónicas, de planificación y de ambiente, planteando la vinculación con los impactos en el medio y en el ámbito socio-político. Las clases prácticas asumen una temática diferente cada año, abordada en una serie progresiva de trabajos prácticos grupales. En este caso se presentan las experiencias realizadas durante 2010, sobre la idea de 'Aldea abierta', nuevo centro urbano conformado por *representantes de una comunidad particular que acepte la integración con miembros de otra comunidad distinta*. Tal construcción hipotética implicó la búsqueda de comunidades particulares en nuestro país, con las que eventualmente, diseñar los objetivos de la propuesta (situación contraria a lo que ocurre, por ejemplo, con los menonitas en la provincia de La Pampa). Los estudiantes propusieron distintos casos con mapuches, maronitas y rastafaris. A su entender, resultaba posible una urbanización pluricultural en la que quedaran incluidos tanto la comunidad elegida como personas pertenecientes a un perfil socio-cultural más extendido o globalizado. Esto motivó el análisis del origen de cada una, su procedencia histórica y el estado de la relación actual con la comunidad 'globalizada'.

Quisiéramos destacar que la asignatura *DAPyU II* integra el proyecto de investigación multidisciplinar *Adecuación de la formación ambiental del Ingeniero Civil en la UTN*; estudio compa-

rativo interfacultades' (bajo la dirección de la Dra. Alicia Irene Bugallo, Código Programa de Incentivos 25/CG03) que se lleva adelante en los Departamentos de Ingeniería Civil de las Facultades Regionales Buenos Aires y General Pacheco. Se destaca la intención de poner en práctica un estilo de ordenación urbano-territorial abierto a distintos modos de vida. Uno de los objetivos es el de incrementar la toma de conciencia del futuro egresado, sobre las dificultades y desafíos de una territorialización multicultural, fenómeno presente en distintas latitudes de la región. Desde esa perspectiva, podemos decir que los trabajos prácticos de la asignatura *DAPyU II*, son coincidentes en cierto modo, con el objetivo de transferir experiencias, metodología y conocimientos que desde la investigación se propone hacia el quehacer pedagógico-didáctico de las asignaturas implicadas en el proyecto, ligadas a la formación socio-ambiental de los futuros ingenieros civiles.

Respecto de los mapuches se partió de la situación histórica de marginación, sometimiento y degradación cultural sufrida por miembros de esa comunidad ancestral en el territorio nacional, a medida que se extendió e impuso la cultura europeo-occidental a partir del siglo XVI. Los maronitas ejemplifican una realidad radicalmente menos dispar, ya que huyendo desde Medio Oriente por la opresión turca, emigraron desde fines del siglo XIX a distintas partes del mundo, en las que encontraron, como en la Argentina, refugio, libertad y derechos a desarrollar sus costumbres y arraigarse con sus familias. Por su parte, la comunidad rastafari se muestra como un movimiento socio-cultural y religioso de origen etíope y jamaicano que, desde comienzos del siglo XX, aspira a que los descendientes de esclavos negros retornen a África. Su orientación política indica no aceptar los valores impuestos por la ideología capitalista dominante, identificándose tanto con filosofías occidentales como africanas. Sus anhelos son la libertad mental, espiritual y terrenal.

Finalmente, y desde un punto de vista más técnico, los grupos abordaron los distintos aspectos problemáticos de la formulación del nuevo centro urbano abierto y la caracterización urbano-socio-ambiental para cada caso.

Dimensiones del marco teórico

La realización de las prácticas implica el manejo

de algunos conceptos claves como: *comunidad*, *comunidad intencional*, *región plan o urbanismo alternativo*, que de algún modo van acercando al futuro Ingeniero Civil a una perspectiva más integradora, sociológica, de su profesión, y no solamente científico-tecnológica (Verga, 2011).

Comunidad

Supone un conjunto de interacciones y comportamientos humanos (un sistema sociocultural) basados en esperanzas, valores, creencias y significados compartidos entre sus miembros. Una comunidad puede apreciarse como un sistema orgánico donde sus miembros vivan y funcionen incluso aunque vengan o vayan, nazcan o mueran, siendo su escala variable al punto de existir comunidades dentro de otras mayores como pueden ser los municipios, grupos étnicos, provincias, regiones, países, etc. (Bartle, 2010).

En áreas urbanas, una comunidad puede ser un pequeño grupo de hogares de personas con un origen común, que sea a su vez integrante de un barrio en un municipio o ciudad mayor. Una comunidad urbana presenta vínculos imprecisos, heterogeneidad en cuanto a diferencias de origen, idioma, religión y otros rasgos. Por la complejidad en la organización, resultan de un grado de sofisticación mayor que las comunidades rurales. La cohesión comunitaria se apoya en experiencias de aprendizaje más que por factores transmitidos; también, por la animación social y la promoción de la participación comunitaria o autoayuda, que la moviliza y organiza.

Comunidad intencional

Una comunidad intencional es un conjunto de personas cuyo eje de convocatoria persigue principios de afinidad y apoyo mutuo dándose en general, en el sitio elegido de radicación, una relación pacífica y armónica entre sus miembros y de respeto y cuidado de la naturaleza. Conformaría un grupo humano que comparte algún principio, creencia o propósito de unión, una metodología de vida o prácticas compartidas y un sitio geográfico donde radicarse y desarrollar sus actividades.

Región plan

La región de planeamiento es la porción de territorio que, prescindiendo de los límites físicos

o jurisdiccionales existentes, se verá afectada por la ejecución de un análisis situacional de lo existente, por la verificación de la aplicación de un plan previo o por la proposición de un plan futuro. En ningún caso los límites de una región son precisos o definidos, pues sus características, aún las puramente físicas, se funden gradualmente con las zonas de transición entre ellas y otras regiones vecinas (Verga, 2003). En el caso de los trabajos prácticos que comentamos, surge de la valoración de un territorio para la ubicación y planeamiento de la aldea abierta hipotética, teniendo en cuenta la región en que se encuentran los asentamientos de cada comunidad elegida, establecidos o vigentes en la actualidad en el ámbito del país.

Urbanismo alternativo

El urbanismo clásico siempre ha tenido en cuenta a una sociedad integrada por individuos diversos desde lo social, lo religioso, lo cultural, lo económico, que posibilitan la formulación de aglomeraciones humanas en diferentes sitios y condiciones, situación que permite inferir la ausencia de discriminación. Más recientemente se han incorporado a su consideración aspectos que inicialmente no incluía como el referido a la problemática ambiental en cuanto a la preservación de la naturaleza, la sostenibilidad y la disposición de residuos, entre otros también relevantes (Bugallo, 2007).

Por su parte, el urbanismo alternativo responde a las problemáticas de la ciudad sin prescindir de la caracterización de la/s comunidad/es que la habita/n. Su estilo se expande desde hace tiempo en el mundo (aunque menos en nuestro país). Las soluciones o formulaciones del urbanismo alternativo deben dar respuesta, en principio, tanto a la comunidad global como a las comunidades intencionales que la matizan con sus peculiaridades. En este sentido propone soluciones para la comunidad intencional a través de planteos no convencionales que, de alguna manera, se diferencian de las correspondientes al urbanismo tradicional, formulando diversas tipologías como Covivienda, Neorruralismo, Permacultura, Ecoaldea, Ecociudad, Ordenamiento territorial alternativo o Geoísmo. Los casos de Aldea abierta planteados responden a los objetivos de familiarizar al estudiante con los desafíos del urbanismo contemporáneo.

Lineamientos generales para los trabajos prácticos sobre *Aldea abierta*

Su cumplimiento se ordenó según el desarrollo de un proceso metodológico de varios pasos. En el desarrollo tiene especial relevancia la elección de la 'comunidad particular', caracterizada de algún modo como 'comunidad intencional' (Verga, 2011), el conocimiento de su modo de vida, la delimitación acertada de la 'Región Plan' y de su 'Sistema Urbano' (Verga, 2004b), la ubicación precisa del nuevo centro urbano y, finalmente una respuesta acorde a las necesidades urbanas a través de una propuesta de diseño que plantee soluciones.

La primera etapa está orientada a la *Caracterización de la propuesta del nuevo centro urbano*, teniendo en cuenta diversas variables, tales como:

- Búsqueda de comunidades particulares
- Análisis de origen o motivo de su formación
- Procedencia histórica de sus integrantes
- Nivel socio-económico-cultural
- Vinculaciones con otras comunidades
- Relación con la comunidad "globalizada"
- Determinación de su Región Plan y Sistema Urbano
- Desarrollo de la problemática respecto a la formulación de un nuevo centro urbano abierto según usos y costumbres de la comunidad elegida
- Análisis de soluciones similares en su proceso histórico

En una segunda etapa, los estudiantes arriban a la *Determinación del predio para la implantación del nuevo centro urbano*. Esto supone la realización de una matriz que corresponde al proceso de Evaluación de Impacto Territorial (EIT), en su etapa de Estudio de Impacto Territorial (EsIT), (Verga, 2007) donde sus columnas indican diversidad de predios posibles para la implantación de la Aldea abierta y sus filas, los sistemas territoriales que podrían verse involucrados. Mediante la matriz de impacto territorial se visualizan los efectos que toda 'actuación', en este caso la *Aldea abierta* podría producir sobre los sistemas territoriales mencionados, permitiendo concluir, luego de una valoración de efectos, con un resultado sobre el impacto a producirse.

- Sitios posibles de implantación de la Unidad

vecinal abierta

- Evaluación de Impacto Territorial
- Vinculaciones y rangos de aglomeraciones humanas del Sistema Urbano
- Localización definitiva

La tercera etapa concluye con el *Diseño del nuevo centro urbano*, donde se plantea la solución más conveniente a las necesidades de habitabilidad de la comunidad elegida sin olvidar, además, que deberá responder a aquellas particularidades que presenten otros individuos, no pertenecientes a ella, pero deseosos de convivir en la misma aldea. Todo esto debiera llevarse a cabo a través de un plan de nuevo centro urbano (Verga, 2003). Supone, entonces, la formulación de:

- Planteos generales y particulares
- Análisis de tipologías respecto a lo ambiental-funcional-espacial-tecnológico-económico

El planteo del diseño urbano de la aldea respondió a ciertos condicionamientos particulares conocidos previamente por los alumnos, los cuales debían respetar en sus propuestas de diseño de la *Aldea abierta*, siendo ellos:

- la cantidad de habitantes iniciales, establecida en 3.000;
- la adopción de la tipología de ciudad respecto al sitio, acordándose la 'ciudad orgánica' (Verga 2003), esta es aquella que se adapta a las condiciones físico-topográficas del terreno;
- prestar especial relevancia a aspectos simbólico-culturales de la comunidad particular en cuestión, y
- la formulación de una codificación normativa respecto a la aldea que posibilite su implementación y permita regular su crecimiento futuro que tome como base de información algunos existentes (CPU)

A continuación, y debido a las limitaciones del presente trabajo, se destacarán sólo algunos puntos significativos de los trabajos prácticos llevados a cabo por los alumnos de *DAPyU II* durante 2010, jugando con la idea de una comunidad pluricultural, diseñada desde la perspectiva del grupo que hasta ahora estuvo más invisibilizado (dentro de un contexto de alta conflictividad) o simplemente en minoría (sin conflictividad manifiesta).

Considerando la perspectiva de los árabes maronitas

Se consideraron los principales credos profesados por los árabes: el musulmán, el cristiano y el judío, destacándose el alto porcentaje de árabes cristianos en Líbano (39%) y además en América del Norte, América del Sur y en Australia, procedentes de Líbano, Siria y Palestina. En particular, el surgimiento de los árabes cristianos seguidores de San Marón (m. 410, Siria) se da en Líbano. Debido a la opresión turca, muchos de ellos decidieron radicarse en otros países fuera del área de conflicto a partir del siglo XIX. Los maronitas conforman una comunidad importante en la Argentina. En 1901 llegaron los primeros misioneros, fundando la Misión Libanesa Maronita en la diáspora y en 1902 el primer colegio en Buenos Aires. De allí se sucedieron, en 1921, la Misión Libanesa Maronita de Mendoza, en 1925 la de Tucumán y en 1931 la de Villa Lynch, partido de San Martín, provincia de Buenos Aires.

La importancia de la comunidad en Argentina motivó al Papa Juan Pablo II a erigir en 1990 la Eparquía de San Charbel en la ciudad de Buenos Aires, circunscripción territorial bajo la autoridad de un obispo, que comprende a todo el territorio nacional, perteneciendo a la Iglesia Maronita patriarcal de rito antioqueño (una de las 21 iglesias católicas orientales dependientes de Roma con asiento en Líbano). Una Eparquía en la iglesia católica oriental posee el mismo rango que una Diócesis en las católicas apostólicas romanas. Según el trabajo de los alumnos, los maronitas de la Argentina conforman una comunidad que alimenta sentimientos profundamente religiosos y viven muy allegados a sus iglesias y conventos, dado que su origen se relaciona

directamente con la vida monacal orientada por San Marón y sus discípulos. Respecto a su nivel socio-económico-cultural, si bien es variable, se inscribe en la franja clase media-clase alta y convive sin dificultades con el resto de la población, aspecto destacable de todos sus asentamientos (Tirasso, 2010).

Ubicación del diseño

A partir de lo antedicho se definieron los límites de la Región Plan o región de planeamiento, en función de los asentamientos y misiones que esta comunidad tiene establecidos actualmente en el país. Los puntos de referencia fueron: Ciudad Autónoma de Buenos Aires; Villa Lynch, provincia de Buenos Aires; Godoy Cruz, provincia de Mendoza y San Miguel de Tucumán, provincia de Tucumán.

Con una intención manifiesta de posicionar a la nueva Aldea como un sitio de centralidad, se propuso su localización dentro de un área territorial en la provincia de Córdoba, en las cercanías de la ciudad de Jesús María, respetando la condición de no colindancia con ciudad alguna.

Variables culturales consideradas para el diseño

El estudiante identifica al templo como un sitio de elevada significación para la comunidad proponiendo entonces un diseño urbano donde utiliza la perspectiva de recorrido hacia el mismo como elemento singular que posibilita un dinamismo visual hacia el templo, respetando la topografía del lugar. Esa condición física y la intencionalidad de la propuesta confluyen en el planteo de una vía vehicular principal que forma

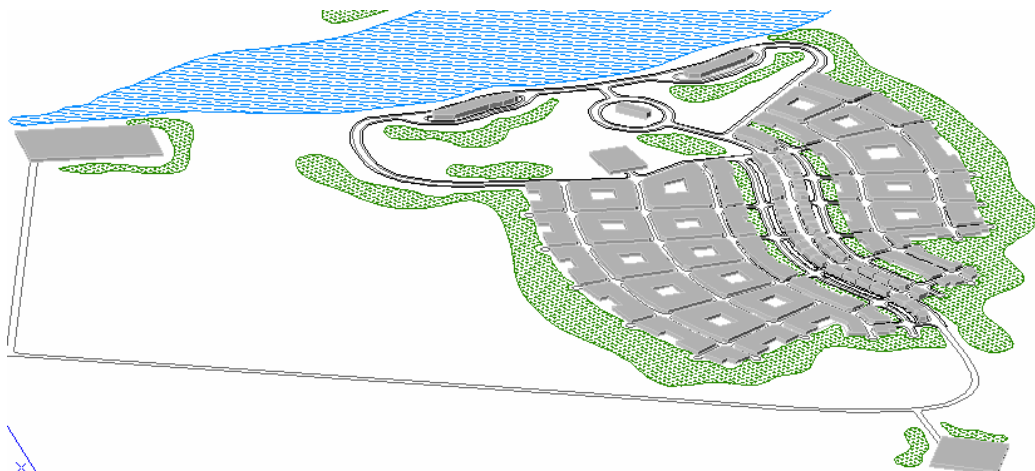


Fig. 1.

parte de una trama que, si bien remite a una tipología en damero, prioriza el movimiento y la perspectiva a través de sus calles sinuosas. (Ver Fig. 1)

La ruta de acceso / avenida principal permite observar diferentes visiones del templo y además es generadora de una zonificación en sí misma, en sentido longitudinal y hacia sus lados, transversalmente. Ese esquema longitudinal genera una tipología de centro cívico (Verga, 2004a), que comienza con un área comercial y de salud, continúa con un área de gobierno y administración y finaliza con un sector de equipamiento educacional y comercial, necesarios para la funcionalidad de la aldea. El diseño culmina en un área de preservación que incluye al templo, inmerso en espacios verdes que lo enmarcan y valorizan. Finalizando el recorrido es posible tomar contacto con un lago artificial, surgido de la ampliación de una cuenca existente, área de reserva ecológica, destinado al turismo, al esparcimiento y al deporte.

En sentido transversal, y a ambos lados de la vía de acceso, el equipo ha formulado una diferenciación de zonas funcionales que, partiendo de la centralidad mencionada, incluye espacios verdes separadores de funciones, áreas residenciales, nuevamente espacios verdes y finalmente un espacio de borde pensado como urbanización futura capaz de absorber el crecimiento de la aldea sin necesidad de proceder a conflictivas expropiaciones.

A fin de mantener algo de aquel modo de vida originario de los árabes maronitas, característico del Oriente Medio, que sostiene en general una visión introvertida de sus espacios funcionales, se ha priorizado el interior por sobre las calles públicas. Así, se ha propuesto un amanzanamiento en el cual las construcciones ocupan los perímetros, dejando espacios libres en sus centros. El equipamiento necesario para proveer servicios se ubica en áreas periféricas, discontinuadas respecto a la zonificación mencionada y la infraestructura necesaria recorrerá la aldea subterráneamente, con la intención de lograr una escasa interferencia visual y un resultado positivo en la evaluación de impacto ambiental.

Considerando la perspectiva de los Mapuches

El trabajo práctico toma en consideración a la

comunidad mapuche que habita en la Argentina, luego de su expansión desde Chile, aculturando a diversas etnias como pehuenches, ranqueles y tehuelches, denominados luego todos, genéricamente 'araucanos'. Desde la segunda mitad del siglo XIX ('Conquista del Desierto') sus territorios les fueron progresivamente arrebatados. Esto motivó su retiro a zonas marginales y desfavorables para las actividades agrícolas y ganaderas. También se crearon reservas en las que muchos fueron obligados a vivir. Hoy la mayoría no tiene tierras propias. Viven en zonas montañosas y áridas o en las periferias de las ciudades. Desde 1930 se comenzaron a alambra sus territorios, eso significó el desmembramiento de muchas familias mapuches, el aumento de las penurias económicas y la transformación de sus prácticas culturales.

Su organización político-social se basa en la conformación de agrupaciones bajo la autoridad de un líder llamado Longo, tanto en zonas rurales como en barrios periféricos de las ciudades donde residen. Habitualmente se reúnen en juntas o comisiones vecinales que, en cada provincia, organizan la lucha por la obtención de leyes que garanticen sus derechos o la aplicación de las ya promulgadas para la recuperación de las tierras y demás derechos reconocidos tanto en la Constitución Nacional, como por el Consejo Asesor Indígena (CAI). Durante la década de los '90, muchas comunidades han vuelto a constituir el Nor Feleal, tribunal de justicia formado por los ancianos, que tiene como objetivo dirimir, entre otros, conflictos internos. Los grupos que permanecen en áreas rurales son fundamentalmente criadores de ovejas, cabras, vacas y chivos para el autoconsumo, llamados "crianceros"; además se desempeñan como trabajadores temporarios en estancias de la región en la época de la esquila de ovejas o la cosecha de frutas o en obras de infraestructura. En algunos lugares, cooperativas de producción y consumo comercializan sus artesanías y tejidos.

Los alumnos han podido constatar que la integración actual de los mapuches con las demás comunidades resulta problemática: muchos continúan viviendo en comunidades mapuches, particularmente las 38 autodenominadas 'agrupaciones' ubicadas en la provincia de Neuquén, pero otros, sobre todo los que habitan en las periferias de las ciudades como Neuquén, Bariloche, algunas de la región del Alto Valle del

Río Negro, Zapala y otras, pertenecientes a las provincias de Neuquén y Río Negro, no mantienen sus lazos comunitarios y llevan generaciones integrados a la cultura blanca y mestiza, aunque sin dejar de reconocerse como mapuches (Fernández, Nastavi, et al., 2010).

Ubicación del diseño

La región de planeamiento o región plan se define según las ubicaciones de los asentamientos en el pasado y en la actualidad, resultando un área territorial coincidente con los límites conjuntos de las provincias de Neuquén y Río Negro.

Dentro del espacio seleccionado y respondiendo a la condición de no colindancia con aglomeraciones humanas existentes y priorizando una vinculación entre distintas localidades de la comunidad, se elige el sector cercano a Pilcaniyeu y a 18 Km al norte de Las Bayas, localidades de la provincia de Río Negro.

El equipo de trabajo tuvo en mente el logro de una comunidad abierta auto sustentable, en la que se valorizara la identidad mapuche. Considerando su realidad social, económica y cultural, debería atenderse a la calidad habitacional (ya sea para mapuches o no) de todos aquellos que estén dentro de la región plan y quieran ingresar a la nueva comunidad. Se imaginaron un contexto de aceptación y respeto mutuo de los nuevos habitantes del centro urbano, considerando sus realidades culturales diferentes. No se encontró una solución similar hasta el momento; lo que hay, según lo investigado por los estudiantes, es ayuda hacia la comunidad mapuche pero nunca se intentó crear una unidad abierta desde su cultura.

Variables culturales consideradas para el diseño

La espiritualidad mapuche es reflejo de una concepción del cosmos ordenado jerárquicamente, en el cual los puntos cardinales representan la oposición del bien y el mal, guiados por un movimiento circular opuesto a las agujas del reloj a partir del Este. La salida del Sol, al Este, marca una orientación relevante en la cultura mapuche. Se destaca

la ceremonia del *Nguillatum* (rogativa) reflejo de tal concepción del mundo.

Para el planteo general, la tipología de vivienda y vida compartida del nuevo centro urbano, los estudiantes priorizaron dos elementos simbólicos relevantes de la cultura mapuche: por un lado, la importancia del Sol y consecuentemente la orientación Este que indica su aparición; por otro lado, el fogón, como elemento en torno al cual se produce tanto la reunión familiar como la comunitaria. El trazado y desarrollo de la Aldea propone, entonces, una orientación de todos sus componentes hacia el este, punto cardinal de mayor jerarquía para los mapuches. Así, en esa ubicación se colocó el centro cívico a modo de sitio fundacional; a partir de allí se fue generando la aldea según un esquema radioconcéntrico (Verga, 2003).

El centro cívico aloja un centro de culto reservado a las ceremonias religiosas. Todo esto formaliza una plaza principal en torno a la cual se distribuyen otros edificios representativos para el funcionamiento de una comunidad amplia, destacándose el Nor Feleal (especie de corte de justicia para los integrantes mapuches) y una iglesia católica en honor a Ceferino Namuncurá, nacido en una comunidad mapuche (aunque hijo de una cautiva blanca chilena) y beatificado hace pocos años por la Iglesia Católica.

Por su parte, la ubicación de un centro cultural en la Aldea posibilitará la realización de eventos no solo para conservar la cultura entre los habitantes sino también para difundir la propuesta como atractivo turístico que genere fuentes de ingreso; igual criterio vale para el museo que mantendría viva su historia. El equipo propuso edificios educativos para la enseñanza a las nuevas generaciones, tanto desde nivel inicial hasta el secundario, siendo todas ellas bilingües, castellano y mapudungun, siendo a nivel secundario de tipo técnica para el aprendizaje de diferentes oficios. En las afueras de la ciudad un centro de educación rural, abierto a toda la comunidad, funcionaría como para incorporar conocimientos sobre tareas rurales, agrícolas y ganaderas y al fomento de micro emprendimientos. El esparcimiento puede darse en un polideportivo destinado a la recreación y a las actividades deportivas que ayuden a mantener saludable

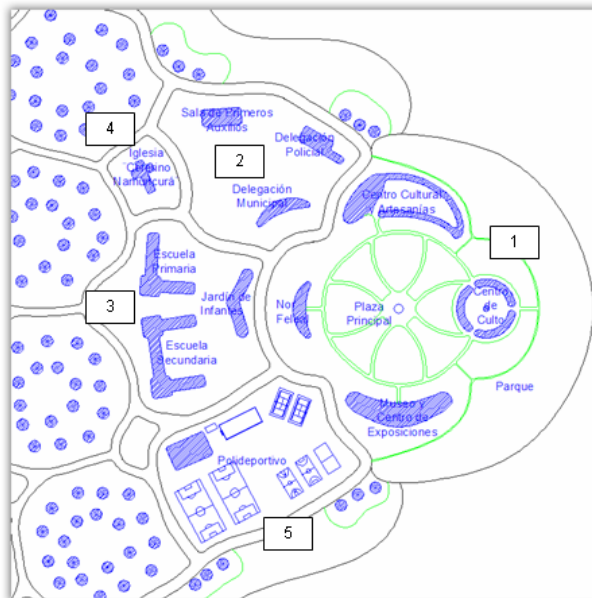


Fig. 2. 1) Centro Cívico: plaza principal, centro de culto, Nor Feleal, Museo y centro de exposiciones, centro cultural y artesanal; 2) Gobierno: delegación municipal, policía, sala de primeros auxilios; 3) Educación: Jardín de Infantes, Escuela primaria y secundaria; 4) Culto católico: Iglesia Ceferino Namuncurá; 5) Deportes: Polideportivo

a la población. (Ver Fig. 2 y referencias)

El trazado irregular, permite circulaciones vehiculares rodeando distintas agrupaciones de viviendas, con la consiguiente generación de las manzanas, valorándose la idea que las viviendas queden agrupadas según las distintas familias, significación que remite a la importancia de los vínculos familiares y a costumbre de agrupamiento en su cultura. El fogón fue tomado como pilar en la propuesta de vivienda actual que, junto a la valoración de la orientación Este, conforman un diseño que distribuye áreas funcionales en torno al fogón, orientándose hacia el punto de relevancia.

Los lotes, según condiciones de codificación formuladas particularmente para esta aldea, son coincidentes con los límites de cada manzana y además presentan una limitación en cuanto a la cantidad de viviendas a disponer, como para asegurar el espacio suficiente para fomentar el cultivo dentro de los mismos y controlándose también la densidad poblacional. La generación de senderos peatonales atravesando el interior de las manzanas manteniendo continuidad de una a otra, fomenta la circulación peatonal resultando más representativa que la vehicular según principios culturales de los mapuches, preservando la postura de lo-

grar una ciudad sin medianeras, que pueda ser recorrida naturalmente, sin interferencias entre las casas en contraposición a la rigurosidad estructural que producen las líneas municipales que junto al bullicio generado por los vehículos provocan las debilidades que estamos acostumbrados a observar y padecer en las ciudades tradicionales. (Ver Fig. 3)

El caso de los Rastafaris

La comunidad rastafari es esencialmente un movimiento socio-cultural y religioso, con una orientación política contraria a ciertos valores impuestos por la ideología capitalista dominante. Se identifican tanto con filosofías occidentales como africanas, siendo sus anhelos la libertad mental, espiritual y terrenal. De acuerdo al informe elaborado por los alumnos, este movimiento surgió en los comienzos de los años 1930 en Etiopía a partir de profecías bíblicas surgidas del "Cristianismo Copto" (Cristianismo Egipcio). Entre otras cosas, esta rama del cristianismo, habla acerca de la liberación de África de los imperios europeos, como también le atribuye un carácter mesiánico a Haile Selassie 1º a partir de profetizarlo como el libertador de África.

Un pilar fundamental de esta tendencia es la

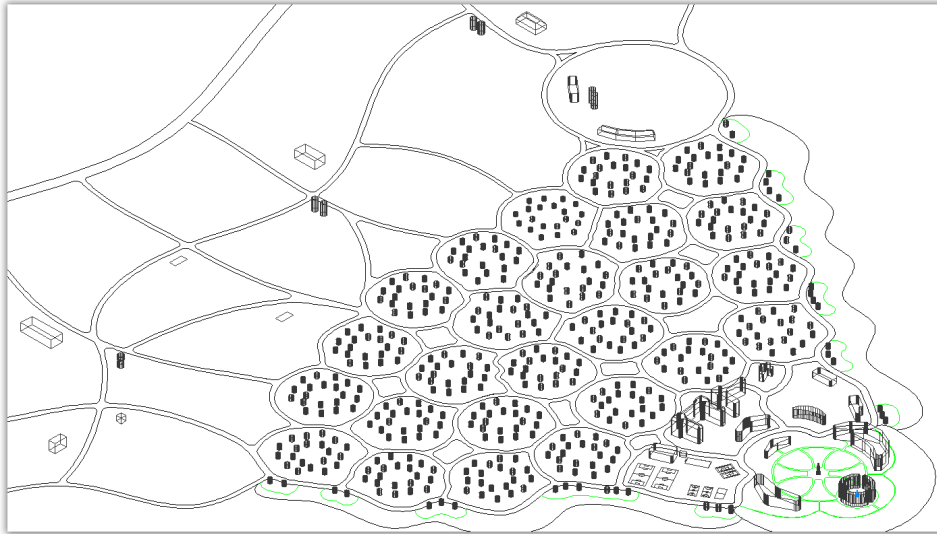


Fig. 3.

lectura del sagrado libro de la tradición Etíope titulado *Kebrá Nagast*. Los rastafaris creen que las traducciones estándares de la Biblia presentan cambios creados por la estructura racista y eurocentrista blanca de poder, de ahí su preferencia por el *Kebrá Nagast*. La doctrina básica es altamente ecléctica, incorporando aspectos de concienciación tribal africana así como principios del Antiguo y Nuevo Testamento, en especial Ezequiel 30, 1 Timoteo 6 y Apocalipsis 17 y 19.

La gran expansión del rastafarismo es debido al deseo de los descendientes de esclavos negros de volver a África; a las aspiraciones sociales y culturales de la comunidad negra y a las enseñanzas del organizador nacido en Jamaica Marcus Mosiah Garvey.

A lo largo de los años '70, el movimiento floreció en popularidad, tanto en Jamaica como en el exterior. Principalmente se debió a la conexión entre la música *reggae* y la religión. El *reggae* comenzó a entrar en la conciencia internacional en los primeros años '70, sobre todo debido a la enorme fama de Bob Marley que se convirtió en el principal ícono del movimiento a partir del canto de los salmos de la Biblia rastafari con la música *reggae*. Sin embargo, muchos rastafaris ortodoxos rechazaron el *Reggae* como una forma de música comercial y "vendida a Babilonia". El *Reggae* y el *Ska* no se deben confundir con la música sagrada de los rastafaris, llamada *burru* practicada a partir de los tambores *nyahbinghi*.

Hoy en día el movimiento se ha extendido a lo largo de gran parte del mundo y tiene seguidores provenientes de distintas culturas, lenguas y naciones. El Rastafarismo, más que una religión, es un orden de vida que tiene principios y normas de convivencia. La mayoría de los rastafaris no se identifican con ninguna secta o denominación. Muchos rastas viven en células cooperativas altamente creadoras. No aceptan el orden económico tradicional, manteniéndose con lo que producen ellos mismos, vendiendo ganja o cannabis para fines rituales, o por medio de sus propias empresas como casas de discos y editoriales (Camalli, Haucke, 2010).

Ubicación del diseño

La determinación de la región de planeamiento responde a los condicionamientos mencionados y a su particular relación con espacios libres cercanos al mar y a la playa, suficientemente alejados de la influencia de ciudades importantes pero, al mismo tiempo, vinculados a ellas para intercambios comerciales. El predio finalmente elegido coincide con un sector de la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires, cercano a la ciudad de Necochea y a la de Tres Arroyos.

Variables culturales consideradas para el diseño

El equipo tuvo en cuenta los ideales rastafari de libertad, lo que les permitió plantear una

propuesta de diseño no tradicional, a través de un amanzanamiento y un trazado urbano singular, consistente en que todo primer propietario que ocupe una manzana libre ubicará su construcción sin restricciones, aunque se verá obligado a generar su lote de forma circular con un diámetro aproximado a los 12,50m Este procedimiento deberá ser continuado por cada nuevo morador, configurando una secuencia ocupacional atípica respecto a lo conocido

Valorando principios del rastafarismo, se plantea una trama urbana sin condicionamientos formales rigurosos como pueden encontrarse en la habitual ciudad clásica 'occidental', pero apuntando siempre a sostener indicadores urbanísticos regulados a fin de asegurar la disposición funcional urbana y su crecimiento futuro. El ordenamiento general resultante propone un diseño que no debería causar desorientación a aquellos habitantes no pertenecientes al movimiento, motivo por el cual se parte de un esquema reconocible a través de una vía vehicular que recorre la aldea transversalmente, provocando una zonificación hacia los laterales y su culminación en el anfiteatro, sitio que resulta de un alto valor significativo para la comunidad rastafari.

Lateralmente a la vía de acceso principal, se van distribuyendo las distintas unidades de

equipamiento (gobierno, administración, salud, educación, etc.) que posibilitan satisfacer necesidades de la comunidad toda, sean o no rastafaris. Se propone también un borde urbano, limitador y vinculante respecto al entorno, donde se ubica aquello relacionado con el esparcimiento de los habitantes (áreas deportivas, áreas de campamento) y además la estación Terminal de ómnibus y la estación de distribución de electricidad, todo enmarcado dentro de un espacio verde y público. (Ver Fig. 4 y referencias)

La libertad propuesta por los alumnos en el proceso de urbanización de las manzanas hace que se condicione la red vehicular de la ciudad, resultando que sus vías de circulación se definan no-ortogonales conformando un amanzanamiento que remite a una disposición en damero pero atípica respecto a lo conocido, debido a que las esquinas no presentan la rigurosidad de los ángulos a 90° habituales en las ciudades tradicionales. Los servicios públicos se distribuirán de manera subterránea para no interferir con las visuales y no impactar en el paisaje urbano. (Ver Fig. 5)

A modo de síntesis

Cabe recordar que el estilo de estos trabajos prácticos no tiene como objetivo fundamental un desarrollo histórico o sociológico profundo

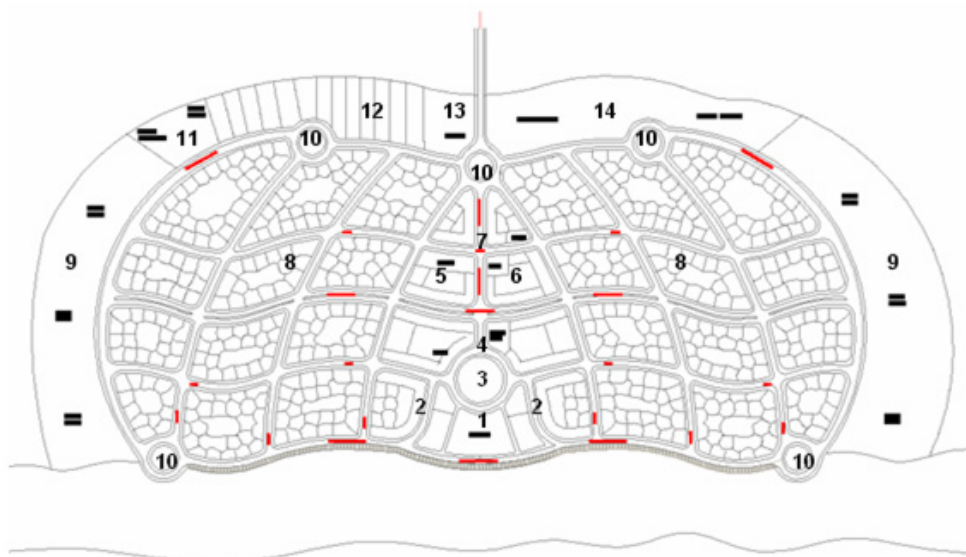
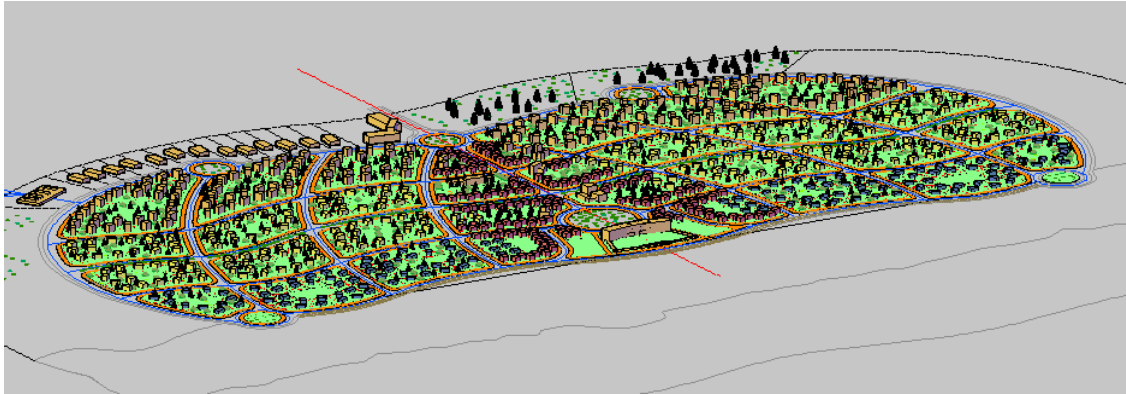


Fig. 4. 1) Anfiteatro; 2) Turismo; 3) Plaza Cívica; 4) Gobierno, Administración; 5) Educación; 6) Salud; 7) Sector comercial; 8) Área residencial; 9) Espacio verde público; 10) Plaza local; 11) Área de servicios; 12) Sector industrial; 13) Terminal de ómnibus; 14) Sector deportivo y de esparcimiento.



por parte de los alumnos, sino el ejercicio de la capacidad de ponerse en el lugar del 'otro' distinto o relativamente distinto. Más allá de ciertas imperfecciones epistemológicas o historiográficas, mostraron la disposición de los grupos por incursionar en perspectivas de un urbanismo alternativo que se perfila cada vez con más presencia en Latinoamérica y el mundo, y que intenta superar el carácter homogéneo y generalista del tratamiento clásico de los problemas urbanos. Se destaca también su potencialidad didáctico-pedagógica, como resultados de la integración entre práctica docente e investigaciones con fuerte presencia de la variable ambiental, llevadas a cabo desde el Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Buenos Aires, UTN.

A diferencia de la tendencia habitual en la formación ingenieril, la noción de ambiente es considerada como un sistema complejo en el que interactúan los factores físicos (suelo, aire, agua, paisaje), los factores bióticos (fauna y flora) y los factores socio-culturales (actividad eco-

nómica, patrimonio cultural, tipo de población, percepción del paisaje, etc.) (Bugallo, Russo et al. 2010).

La perspectiva asumida por la cátedra, junto con los materiales de estudio especialmente elaborados para brindar un marco de comprensión de los trabajos prácticos, facilita una visión del ordenamiento urbano-territorial eventualmente abierto a distintos modos de vida. Uno de los objetivos sería incrementar la toma de conciencia del futuro egresado, sobre las dificultades y desafíos de la planificación, intervención y gestión urbana y sustentabilidad socio-ambiental de las actuales ciudades atravesadas por la realidad del multiculturalismo. Las comunidades intencionales son quienes deciden cada vez con más fuerza el criterio para la propuesta de su lugar para vivir, acercándose de una manera importante al urbanismo alternativo, el cual está requiriendo una formación flexible y dinámica de nuestros futuros profesionales para dar respuesta a formas específicas de producción y distribución social del espacio urbano en la región.

Referencias

- BARTLE, Phil, (2010) "¿Qué es una comunidad? Una descripción sociológica", www.scn.org/cmp/
- BUGALLO, A. I., (2007) 'Ingeniería, políticas ambientales y sociedad' en NÁPOLI, F. (Comp.) (2007) *Sociedad, Universidad e Ingeniería*, Buenos Aires, CEIT/FRBA, UTN, pp. 221-267.
- BUGALLO, A. I.; RUSSO, O.; VERGA, J. L.; GRAHAM, M. I.; BADO, M. S.; ZAPATA ÁLVAREZ, A. M. y BOCHATÓN, G., (2010) 'Estrategias curriculares para la formación ambiental del Ingeniero Civil; estudio comparativo entre facultades' en *Proyecciones. Publicación de Postgrado e Investigación de la Facultad Regional Buenos Aires*, Vol. 8 N° 2, octubre 2010, pp. 47-59.
- CAMALLI, M. y HAUCKE, J., (2010) Trabajo Práctico Aldea rastafari, DAPyU II, UTN-FRBA.
- CPU, Código de Planeamiento Urbano, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- FERNÁNDEZ, A.; NASTAVI, J. y NAVAS, L., (2010) Trabajo Práctico Aldea mapuche, DAPyU II, UTN-FRBA.
- TIRASSO, R., (2010) *Trabajo Práctico Aldea maronita*, DAPyU II, UTN-FRBA.
- VERGA, J. L., (2011) *Comunidad, Urbanismo alternativo, Nuevos principios del urbanismo*, CEIT/FRBA, UTN.
-, (2010) *Desarrollo programático anual*, Diseño Arquitectónico, Planeamiento y Urbanismo II, Ingeniería Civil, FRBA, UTN.
-, (2007) *Ambiente*, CEIT/FRBA, UTN.
-, (2004a) *Centro Cívico*, CEIT/FRBA, UTN.
-, (2004b) *Metodología*, CEIT/FRBA, UTN.
-, (2003) *Urbanismo y Planeamiento*, CEIT/FRBA, UTN.

Aprovechamiento de la Energía Undimotriz

Mario Pelissero, Pablo A. Haim, Guillermo Oliveto, Francisco Galia y Roberto Tula

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Buenos Aires
Departamento de Ingeniería Mecánica, Medrano 951, (C1179AAQ)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires. República Argentina
undimotriz@gmail.com

Recibido el 3 de Junio de 2011, aprobado el 22 de Julio de 2011

Resumen

Uno de los problemas del mundo es la gradual disminución de las fuentes tradicionales de energía como el petróleo, gas y carbón. La combustión de importantes cantidades de estos recursos está produciendo severos efectos sobre el clima y resultan altamente contaminantes, esta es la razón por la cual en el futuro la humanidad necesitará de otras alternativas para obtener energía, estas fuentes serán la energía hidráulica, eólica, solar, geotérmica. Los océanos proveen de energía a partir de las mareas (mareomotriz) y de las ondas marinas, conocida como energía undimotriz. Todas estas son fuentes renovables y limpias. En términos globales el 94% de la producción de energía mundial proviene de fuentes no renovables y en nuestro país solamente el 8% de la producción de energía corresponde a fuentes renovables. La energía de las ondas aparece como una alternativa consistente basada en la energía que llevan las ondas a lo largo de los océanos del mundo. La energía se genera a partir de la acción del viento en la superficie del mar. Dadas las características del clima y las condiciones de nuestra costa marítima estamos convencidos del enorme potencial de este tipo de energía. En estos momentos nos encontramos desarrollando un dispositivo electromecánico para transformar la energía undimotriz en energía eléctrica y nos abocamos al estudio del lugar donde instalarlo.

PALABRAS CLAVE: ENERGÍA UNDIMOTRIZ – ENERGÍA ALTERNATIVA – ENERGÍA SUSTENTABLE - ENERGÍA LIMPIA

Abstract

One of the problems of the world is the gradual depletion of the traditional energy sources like oil, gas and coal. Combustion of large quantities of these sources is producing severe effects on the climate and are highly polluting, that is why in the future mankind will need to use other alternatives to obtain energy; these sources are hydroelectric, wind, solar, geo thermal energy. The ocean provides energy from the tides and now from the waves known as undimotriz energy. All of them are clean and renewable energies. On a global basis, 94% of the energy production comes from non renewable sources and in our country only 8% of the energy production is from renewable sources. Waves energy appears as a consistent alternative based on the energy that is carrying out through the waves all around the oceans. This energy is generated by the action of the wind on the sea surface. Given the characteristics of the climate and the coastline, we are convinced about the great potential of this kind of energy. Nowadays, we are developing an electromechanical device to transform the wave energy into electrical energy and we are studying the place to locate it.

KEYWORDS: KEYWORDS: ENERGY – ALTERNATIVE – UNDIMOTRIZ – SUSTAINABLE – CLEAN

¹ Se desea destacar la colaboración en este proyecto de Leonardo Plaun, Ricardo Haim, Martín Haim, Federico Muiño, Gustavo De Vita, María Paula Bouza y Juan Manuel Hinojosa.

Introducción

Desde hace dos siglos que se viene produciendo una vertiginosa utilización de los recursos energéticos no renovables, tanto el carbón como el petróleo y el gas están siendo utilizados en forma más intensa a fin de satisfacer la urgente demanda mundial de energía. Esta situación que podría resultar un signo positivo en aras del bienestar de la población mundial, es también un dramático factor en el cambio de las condiciones climáticas en nuestro único hogar planetario.

El continuo incremento en la atmósfera de los gases de efecto invernadero derivados de la combustión de los hidrocarburos está produciendo cambios en el clima con nefastas consecuencias. La modificación más relevante la representa el incremento de la temperatura global que trae aparejada la disminución de los hielos tanto en los casquetes árticos como antárticos y la continua disminución de los glaciares continentales. Por otro lado, se está experimentando el incremento en la frecuencia de sequías, huracanes e inundaciones aún en sitios donde no se registraban estos fenómenos.

La disminución de las reservas mundiales de los recursos energéticos no renovables hace peligrar el desarrollo de las próximas generaciones además generan escenarios de lucha armada para el dominio de los escasos recursos que aún existen.

Es hora de pensar seriamente en plantear un cambio radical que consistiría en utilizar los recursos hidrocarbúricos para la producción de insumos básicos como productos químicos y plásticos, evitando los procesos de combustión y producir de este modo, un vuelco hacia las tecnologías que hagan uso de las energías alternativas sustentables para la generación de energía eléctrica.

La utilización de las energías renovables permitirá un real cambio de las condiciones de vida de la humanidad ya que los efectos sobre el medio ambiente son casi nulos y su provisión es inagotable. El modelo a seguir es el que están llevando a cabo en países como Alemania, Reino Unido de la Gran Bretaña, Holanda, España, Portugal, Corea, Israel, Japón y Estados Unidos de Norteamérica donde la investigación, el desarrollo y el fomento de las energías

alternativas son políticas de Estado.

Fuentes oceánicas de energía renovables

El mar ofrece una serie de posibilidades para la generación de energía eléctrica. Una de las tecnologías más afianzadas al respecto es aquella vinculada con el aprovechamiento de la amplitud en los niveles de las mareas; la energía involucrada en este fenómeno se denomina mareomotriz. Otras alternativas en vías de estudio, consisten en el uso de las corrientes marinas, la diferencia de temperatura entre el fondo y la superficie oceánica y el calor generado por la dilución del agua salada en el agua dulce en los estuarios.

El aprovechamiento de la energía undimotriz es uno de los planteos más jóvenes al respecto, aunque se mencionan otros ejemplos en Japón a partir de 1930, los datos recabados nos indican que el potencial es enorme; cabe señalar que existen interesantes experiencias en muchos países, donde algunos dispositivos se encuentran en fase experimental y otros tantos en fase de explotación comercial.

Aplicación del término undimotriz

El término undimotriz se origina en la palabra onda y se aplica tanto a las ondas marinas en las zonas medianamente cercanas y alejadas de la costa (*middle* y *off shore*) como a la extinción de la onda o sea la ola en la franja costera (*on shore*); nuestro proyecto está vinculado con el empleo de esta energía en las zonas medias y cercanas de la costa, esto se debe a que es en esa franja donde se obtiene la máxima cantidad de energía. Este fenómeno es de características superficiales y su promotor es el viento. Se origina precisamente, a partir del rozamiento del viento sobre la superficie del mar; otros factores como la marea y las corrientes marinas pueden actuar pero su influencia es menor.

En la Fig. 1 que se presenta a continuación se puede apreciar la forma en que originan las ondas y su desarrollo.

Valoración del fenómeno

La cantidad total de electricidad que podría generarse anualmente, a partir de las energías

Etapa de generación de ondas marinas

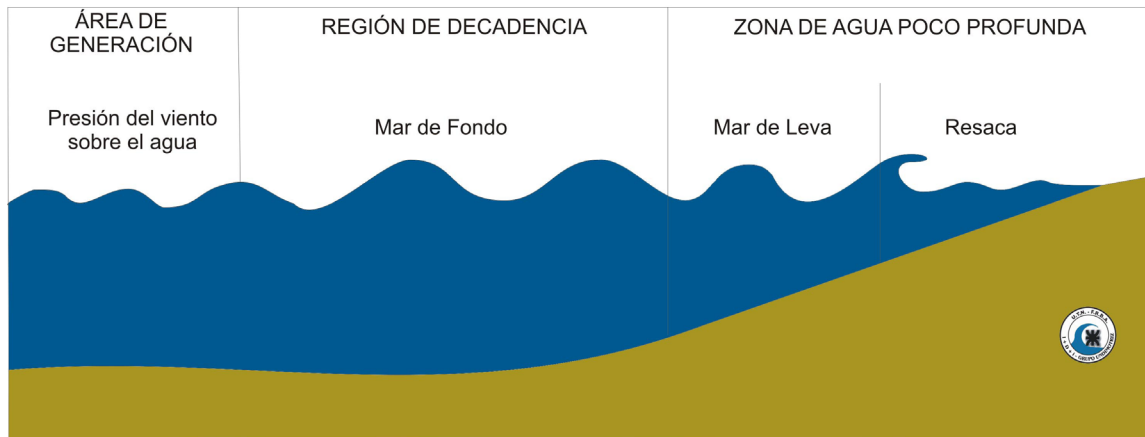


Fig. 1. Etapas de la vida de una onda

renovables es 975.010 TWh; mediante la tabla 1 se puede visualizar como está constituida esta grilla.

Energía renovable Energía (TWh)

Solar fotovoltaica	470.278
Solar: equipos concentradores de energía	275.556
Eólica terrestre	105.278
Oceánico; mareomotriz y undimotriz	91.398
Hidráulica	13.889
Geotérmica	12.500
Eólica marina	6.111

Tabla 1. Panorama mundial de las energías renovables

Fuente: World Energy Statistics and Balances. 2008. National Renewable Energy Laboratories. US.

Recursos no renovables	81,51
Hidráulica	16,41
Eólica	0,68
Solar	0,02
Otros recursos renovables	1,37

Tabla 2. Discriminación porcentual de las fuentes para la generación de la energía eléctrica durante el año 2006

Fuente: World Energy Statistics and Balances. 2008. National Renewable Energy Laboratories. US.

A los efectos de enmarcar los datos anteriores con la generación de energía eléctrica en el mundo y teniendo en cuenta las fuentes utilizadas para su obtención, en la tabla 2 se indican los datos porcentuales obtenidos en el año 2006. La cantidad total de la energía eléctrica generada en el mundo fue de 19.015 TWh

UNESCO en el año 2009 emitió un boletín vinculado con el área energética donde informaba que la cantidad de energía undimotriz disponible en todo nuestro planeta era del orden de los 200GW; si consideramos que nuestro país tiene un consumo de energía del orden de 75 TWh por cada año, mediante un sencillo cálculo:

$200 \text{ GW} \times 365 \text{ días} \times 24 \text{ horas}$ es igual a 1,752 TWh /año

O sea que, a partir de tan solo el 2,34% de la energía undimotriz mundial podría satisfacer los requerimientos eléctricos de nuestro país.

El Instituto de Ingenieros Mecánicos de Gran Bretaña elaboró un mapa global donde expresa los valores de la energía undimotriz en forma de potencia por unidad lineal, allí se puede apreciar que la potencia latente en nuestro litoral marítimo se encuentra entre los 30 y 100 KW por cada metro de ola.

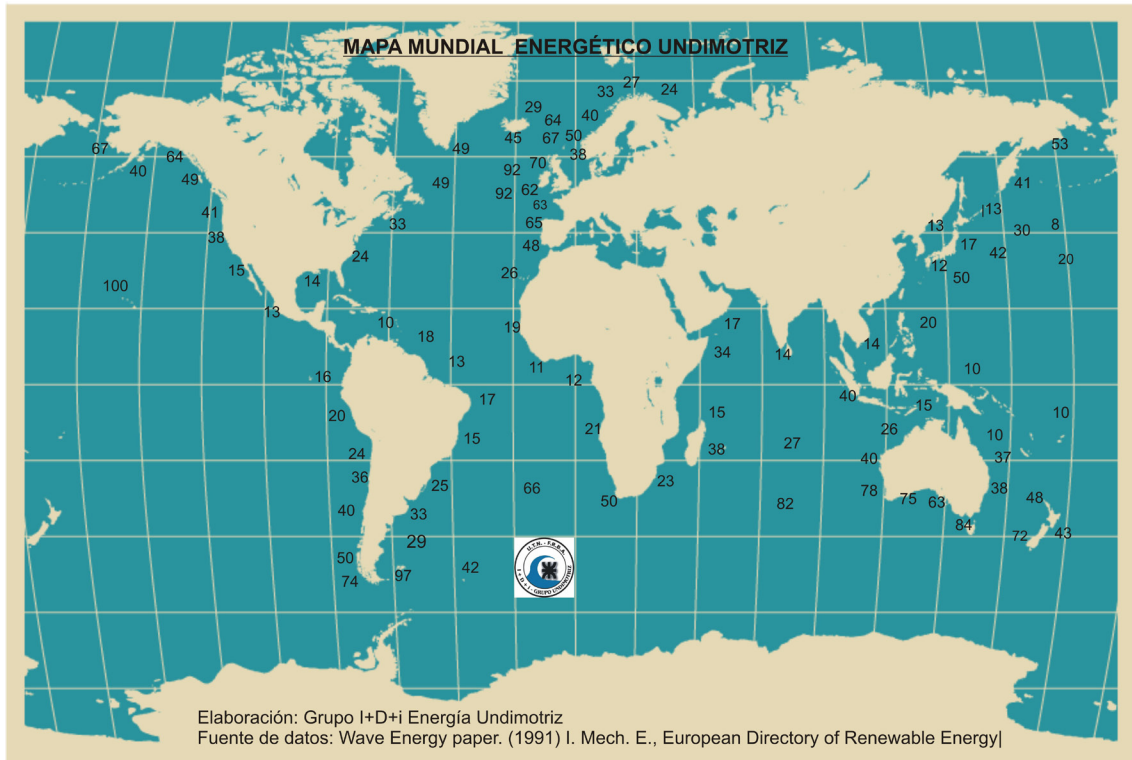


Fig. 2. Mapa mundial de energía de las ondas expresada en KW por cada metro de frente de onda

Fuente: Wave Energy paper. (1991) I. Mech. E., European Directory of Renewable Energy.

En la Fig. 2 se indica el mapa mundial de energía de las ondas expresada en KW por cada metro de frente de onda.

Otras fuentes consultadas indican tal como se puede apreciar en la tabla 3, que la densidad de energía contenida por la masa oceánica supera ampliamente a las energías renovables tecnológicamente más afianzadas.

Fuente energética Potencia por cada unidad de superficie (W/m²)

Biomasa [1]	0,6
Solar [2]	200
Eólica [2]	400 a 600
Undimotriz [2]	2.000 a 3.000

Tabla 3. Cuadro comparativo de la potencia por unidad de superficie de las energías renovables más utilizadas con respecto a la energía undimotriz.

Fuente: [1] Ing. Agrónomo. M. Jorge A. Hilbert. Biomasa. Maestría Energías Renovables 2010. UTN. [2] Pedro Ibáñez, Robotiker Tecnalia, España.

Por ende la energía undimotriz es 5 veces

más concentrada que la energía eólica y 30 veces más concentrada que la energía solar.

Características de la energía undimotriz

Debemos recordar que las energías renovables se caracterizan por su variabilidad e intermitencia pero, en el caso de la energía undimotriz, existe un consenso internacional respecto de su consistencia pues en determinadas regiones oceánicas, se produce una marcada persistencia durante mayor parte del año lo que garantiza el permanente funcionamiento de los equipos.

Las aguas oceánicas actúan como acumuladores de la energía cedida por el viento; la cantidad de energía colectada por los océanos dependerá de la duración e intensidad de los vientos. Las fortalezas de este tipo de energía pueden sintetizarse del siguiente modo:

- El viento está presente en determinadas zonas de nuestra Patagonia casi todo el día a lo largo de todo el

año; es decir que tanto por su regularidad como por su intensidad permiten prever un continuo suministro de energía. Por otro lado, de no registrarse acción del viento en la región de captación, se podrá verificar la presencia de ondas ya que las mismas son transportadas por el agua desde regiones lejanas. El caso extremo que ejemplifica este fenómeno son las olas gigantes (tsunami) que viajan miles de kilómetros, muy lejos del lugar donde fueron generadas. La costa patagónica presenta un escenario óptimo de trabajo debido a la escasa profundidad del lecho marino aún a distancias considerables de las costas, esto facilitará la instalación de equipos y dispositivos.

- El agua resulta ser un vector energético extraordinario, se lo conoce por la capacidad de almacenamiento de la energía (este tema es ampliamente reconocido a partir de los emprendimientos hidroeléctricos); la energía posible de ser aprovechada es superior a las otras alternativas renovables de mayor difusión en la actualidad y esto se debe a que la densidad del agua es muy superior a la del aire (835 veces mayor).

Mar Argentino

El litoral marítimo de nuestro país tiene una longitud de 5.087 Km y abarca una superficie de 2.800.000 Km². Nuestra región oceánica cuenta con una plataforma que a medida que avanza hacia el sur progresivamente se va ensanchando y aumenta su profundidad, hasta alcanzar los 200 metros a 200 millas de distancia.

Una de las fortalezas de este proyecto es la presencia constante del viento en nuestro mar austral; recordemos que es el viento el generador del fenómeno. Por otro lado, cabe destacar que el movimiento de la masa oceánica hacia la costa es amortiguado por la plataforma submarina, lo que produce un desplazamiento ordenado de las ondas marinas en forma paralela a la costa. Este amortiguamiento permite prever con bastante seguridad este movimiento y además evita la

formación de ondas y de olas de tamaños importantes.

La altura de las ondas se hace relevante en la región sur y sudeste de la isla grande de Tierra del Fuego donde se pueden encontrar ondas que van desde 1,75 a 2 metros. Al sur de Puerto Deseado y en la costa norte de Tierra del Fuego las ondas alcanzan valores que van de los 1,50 a 1,75 metros mientras que en el resto de la costa patagónica y bonaerense la altura promedio anual es de 1,25 a 1,7 metros.

En Bahía Blanca, Golfo de San Matías, Golfo de San Jorge y sur del Puerto de San Julián los valores resultan entre 1 a 1,25 metros. En estos casos nos encontramos en el límite de los valores mínimos para poder utilizar los dispositivos de captación.

Experiencia internacional en energía undimotriz

La tecnología necesaria para la captura de esta energía y su transformación en energía eléctrica está en pleno desarrollo; según el World Energy Council existen más de 4.000 patentes de convertidores de energía undimotriz a energía eléctrica; esto demuestra que estamos en un campo de investigación muy activo.

Desde hace muchos años el Reino Unido de la Gran Bretaña como España y Portugal están desarrollando sistemas de captación de este tipo de energía. En las islas británicas se está realizando numerosos ensayos, en Escocia durante 11 años estuvo en funcionamiento un equipo de 75 KW en la isla de Islay, la experiencia obtenida durante ese tiempo ha permitido su reemplazo por un equipo mucho mayor de 500 KW Gran Bretaña ha invertido en proyectos de aprovechamiento de energía undimotriz 5 millones de libras en los últimos 5 años y aprobó un proyecto de 42 millones de libras.

Portugal realizó la compra en Escocia y está experimentando un dispositivo denominado Pelamis de forma tubular y está considerando la instalación de un parque marítimo con una serie de estos dispositivos para la producción de energía eléctrica para el uso domiciliario. Tanto en los países nórdicos de Europa como

en Corea y Japón están creando dispositivos para capturar esta energía desde muelles e incluso en Japón se ha desarrollado un yate que utiliza la energía undimotriz para su desplazamiento e iluminación.

En el ámbito sudamericano existen experiencias en Ecuador, Chile y Brasil. En este último país se llevará a cabo un proyecto para captar la energía de las olas en su embate contra una escollera creada "ad hoc"; este proyecto está en ejecución y es liderado por la Universidad Federal de Río de Janeiro en el Estado de Ceará.

El Departamento de Energía (DOE) de los Estados Unidos de Norteamérica ha fijado como política de estado una serie de metas para lograr el auto abastecimiento energético; en este sentido está trabajando fuertemente en el desarrollo de biocombustibles, la energía eólica, solar y geotérmica, como así también está analizando el tema undimotriz a partir del estudio de 8 propuestas tecnológicas y 5 lugares geográficos para su aplicación.

Las ondas son el medio por el cual se desplaza la energía; en la figura 3 se realizará una breve descripción de los distintos tipos de ondas marinas y su capacidad de transportar energía. Como se puede apreciar en la Fig. 3 las ondas originadas por el viento son las de mayor

contenido energético y por ende serán aquellas destinadas a la obtención de esta energía. Las causas de su formación son:

- Los desplazamientos que se producen debido a la atracción que ejercen sobre las masas oceánicas tanto el sol como la luna; el resultado son las mareas.
- La variación de temperatura produce modificaciones en la presión atmosférica que a su vez genera grandes desplazamiento de aire en la forma de todo tipo de tormentas.
- La aparición de los acontecimientos sísmicos o erupciones volcánicas generan grandes movimientos ondulares que se propagan grandes distancias en forma ondular.

Tipos

- Olas
- Mar de fondo
- Mar de leva
- Rompientes
- Resaca

Clasificación

- Superficiales
- Internas: aparecen debajo de la superficie debido a la variación de la densidad del agua
- Progresivas: sus crestas se trasladan en una sola dirección
- Estacionarias: permanecen en un mismo lugar

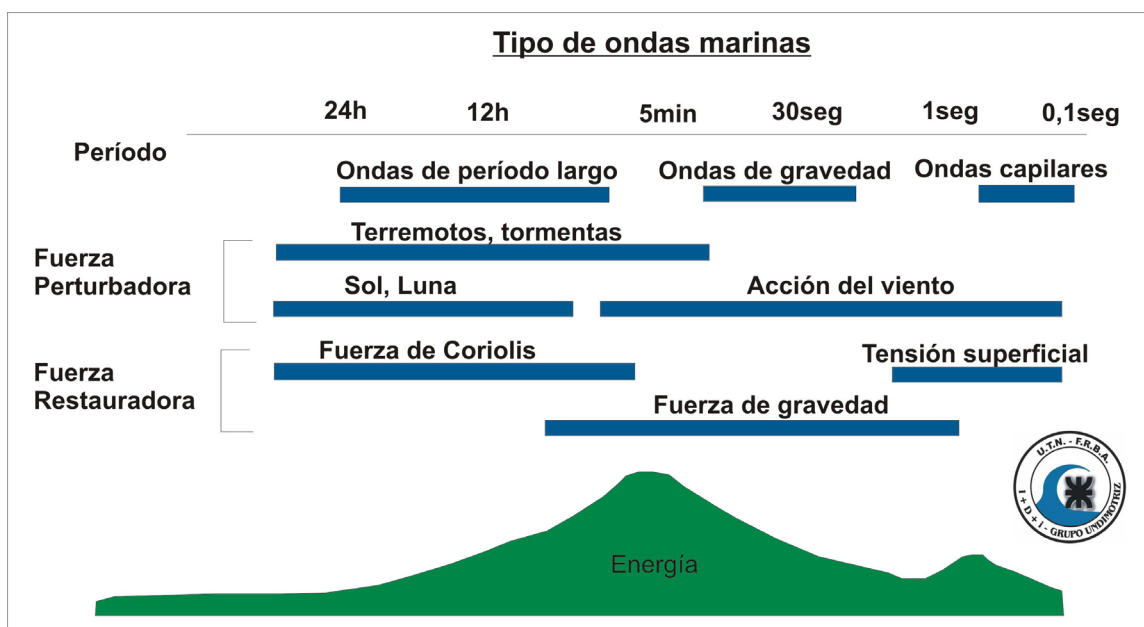


Fig. 3. Tipos de ondas marina

Fuente: Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética de la Universidad de Cantabria, Pedro Fernández Díez

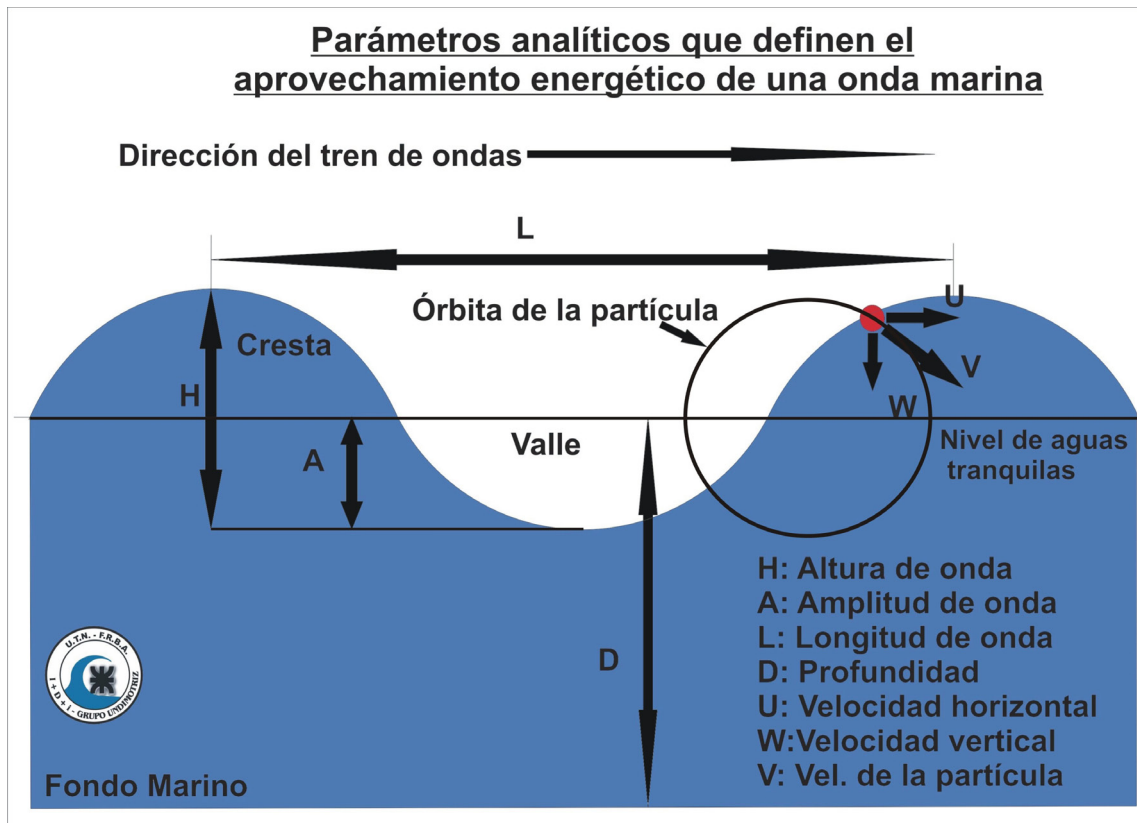


Fig. 4. Parámetros analíticos que definen el aprovechamiento energético de una onda marina

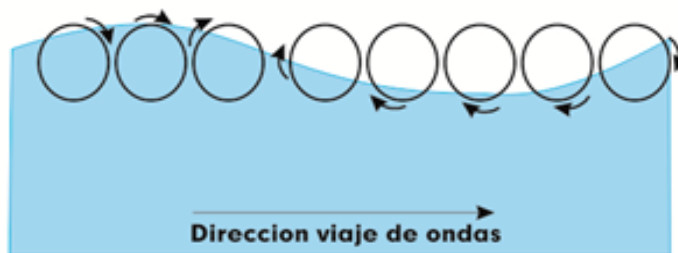


Fig. 5. Movimiento circular definido por las ondas

Duración de una onda

- Viento: 0 a 500 segundos
- Tormenta: 50 a 500 segundos
- Tsunami: 500 a 6 horas
- Mareas: cada 6 horas

En la Fig. 4 se describen los parámetros analíticos que intervienen en la caracterización de una onda marina

Considerando las características corpusculares de las ondas, en la Fig. 5 se establece la trayectoria circular de una partícula en la

superficie del mar.

Distribución de energía según la dirección de las ondas

En gran parte de nuestro litoral marítimo las ondas marinas que se acercan a la costa tienden a ordenarse y alinearse debido a la escasa profundidad que existe, pero en aguas profundas es decir alejadas de la costa las ondas se desarrollan plenamente en forma libre.

Los estudios que brinda la bibliografía de nuestro país nos remite a un trabajo presen-

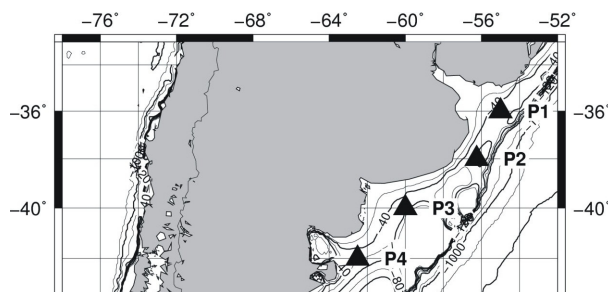


Fig. 6. Ubicación de los puntos de análisis

Fuente: [3] Ricardo Das Neves, Sonia Chandare. Caracterización del recurso undimotriz en el litoral Argentino.

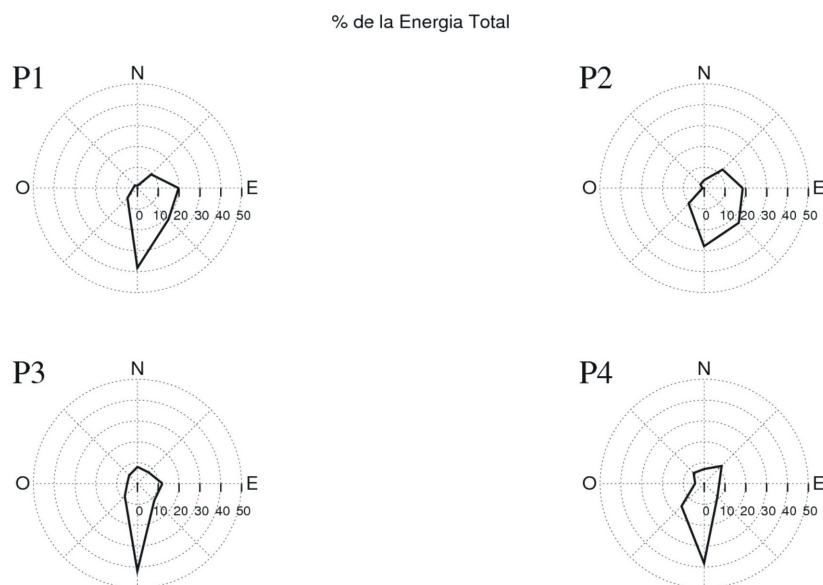


Fig. 7. Gráficos de distintos puntos oceánicos de la costa patagónica donde se refleja la dirección y la energía que contienen las ondas marinas

Fuente: [3] Ricardo Das Neves, Sonia Chandare. Caracterización del recurso undimotriz en el litoral Argentino.

tado en el Congreso Mundial de Ingeniería de Buenos Aires. Bicentenario 2010 donde a 100 Km de la costa patagónica.

En la Fig. 7 se pueden observar unos gráficos donde se puede apreciar la energía en función de la variabilidad de dirección de ondas en distintos puntos de aguas profundas en el Mar Argentino (Fig. 6), este tipo de herramienta permite determinar la mejor ubicación de los equipos de captación de energía para obtener el rendimiento máximo.

Para el cálculo de la energía disponible del recurso undimotriz se debe tener en cuenta la altura de las olas y de esta forma se puede determinar la potencia (KW/m de frente de onda).

En la fig. 8 a partir de estudios del comportamiento oceánico los anteriores sitios de estudios se puede visualizar en los gráficos la relación entre la potencia de las ondas con respecto a la ocurrencia del fenómeno y además se indica la energía total.

El dispositivo ideal será aquel que pueda aprovechar el mayor caudal de ondas tanto en dirección como en altura.

Objetivo del proyecto

El objetivo de este proyecto es generar una tecnología técnicamente viable, económicamente factible y de bajo impacto ambiental capaz de transformar la energía undimotriz

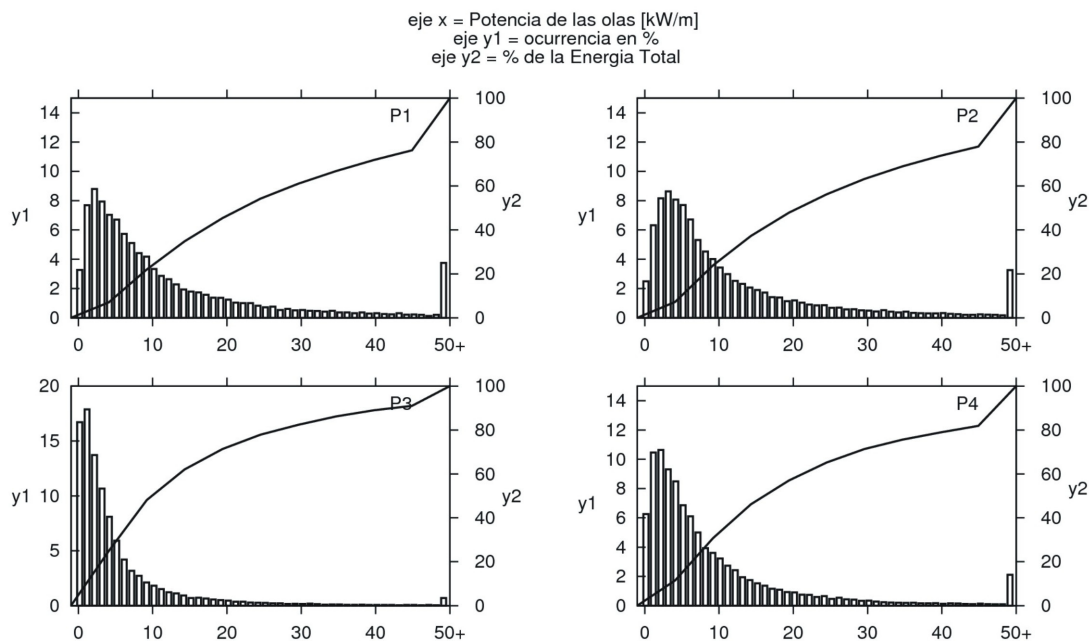


Fig. 8. Gráficos compuestos donde se refleja la potencia de las ondas marinas respecto de la ocurrencia y la energía total

Fuente: [3] Ricardo Das Neves, Sonia Chandare. Caracterización del recurso Undimotriz en el litoral Argentino.

en energía eléctrica además de servir de modelo de estudio para el ámbito académico de un proyecto interdisciplinario que abarca la mayor parte de las carreras de nuestra facultad.

En primer término nos hemos trazado como meta la construcción de un prototipo que se pondrá a prueba en una pileta para ensayos de náutica, a continuación se trasladará la experiencia adquirida en un dispositivo a escala 1:20, el mismo nos permitirá ajustar los parámetros de diseño para finalmente construir el modelo a escala real.

Nuestra intención final es la de generar parques acuáticos con estos dispositivos para abastecer el fluido eléctrico a poblaciones dispersas de nuestra costa patagónica.

El carácter académico de este proyecto nos lleva a la formación de cuadros profesionales en la temática de la investigación tecnológica aplicada, para ello estamos trabajando sobre la base de profesionales docentes que actúen como líderes de grupos constituidos por jóvenes profesionales y alumnos.

Estado del proyecto

En estos momentos nos encontramos aboca-

dos en dar forma al prototipo y a la discusión del generador eléctrico más conveniente.

En todos los grupos de trabajo se siguen investigando e incorporando información bibliográfica, entre otros se están elaborando documentos referidos al estudio de materiales para la construcción del dispositivo, corrosión, pinturas, construcciones oceánicas, oceanografía, cuestiones ambientales y al estudio de energías alternativas.

Tipo de dispositivo

La energía aprovechada será función básicamente del período y la altura máxima de la onda formada, esto nos lleva a pensar que cuanto más tormentosa y agitada se encuentre la superficie mayor será la energía que se pueda obtener, esto es estrictamente cierto; sin embargo, la experiencia internacional nos indica que aún no se han creado los dispositivos confiables capaces de soportar la extraordinaria energía que desarrolla el mar en condiciones extremas, en esos casos solo nos queda detener los equipos captadores y esperar mejores condiciones climáticas.

Nuestro diseño básico consta de un cuerpo donde se aloja el sistema electromecánico

unido a un par de brazos de palanca que en su extremo tienen adosada cada uno una boya. La boya captura la energía del movimiento de las ondas marinas que se trasmite por medio del brazo de palanca al sistema electromecánico donde se genera la corriente eléctrica.

Los aspectos de estanqueidad del dispositivo y durabilidad de los materiales son aspectos de especial cuidado en un ambiente de

trabajo donde las exigencias mecánicas son extremas y los efectos de la corrosión son devastadores.

A continuación en la Fig. 9 se muestra la imagen del dispositivo en funcionamiento en las cercanías de una ciudad costera bonaerense.

Se espera que nuestra propuesta sea la que permita el mejor aprovechamiento de este recurso de características inagotables.

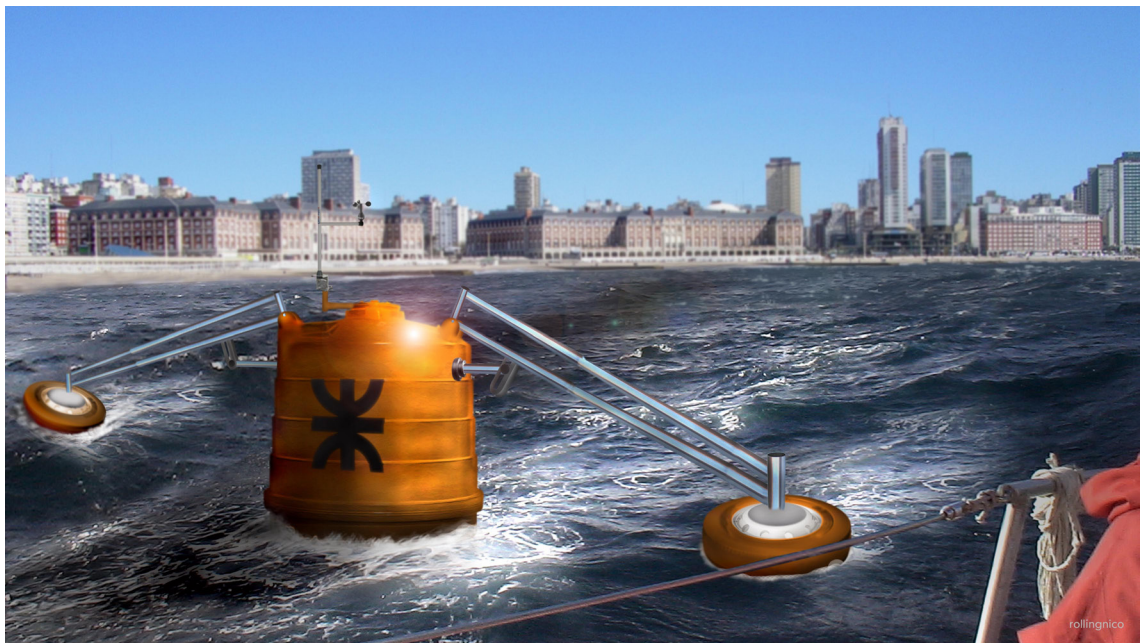


Fig. 9. Imagen descriptiva de un dispositivo en funcionamiento

Cálculo de Energía y Potencia

Se puede calcular la energía de las olas en Joule por metro cuadrado de superficie en función de la altura de la ola mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{E(\text{Joule})}{m^2} = \frac{\rho(\text{kg} / m^3) \times g(\text{m} / s^2) \times H^2(m^2)}{8}$$
$$\approx 1.250(\text{kgm} / s^2 m^3) \times H^2(m^2)$$

Fuente: Fernanda Miguélez Pose, La energía que viene del mar. Ed. Netbiblo S.L. España 2009

Siendo:

E: energía (Joule)

ρ : densidad del agua de mar: 1020 (kg/m³)

g: aceleración de la gravedad: 9,81 (m/s²)

H: altura de onda (metro)

Si tenemos en cuenta la velocidad de un grupo de ondas y el período de las mismas podemos calcular la potencia de una onda por cada metro de su longitud mediante la siguiente expresión:

$$\frac{P(\text{Watt})}{y(m)} = Cg(\text{m} / s) \times E(\text{J} / m^2) =$$

También se puede expresar de la siguiente forma:

$$\frac{P(\text{Watt})}{y(m)} = \frac{\rho(\text{kg} / m^3) \times g^2(m^2 / s^4) \times t(s) \times H^2(m^2)}{32 \times \pi}$$

$$\approx 1000(\text{kgm}^2 / m^3 s^4) \times t(s) \times H^2(m^2)$$

Como la potencia se considera en kW por cada metro de onda nos queda:

$$\frac{P(\text{kW})}{(m)} = 1 \times t(s) \times H^2(m^2)$$

Fuente: Fernanda Miguélez Pose, La energía que viene del mar. Ed. Netbiblo S.L. España 2009

Siendo:

y: frente de ola (metro)

E: energía (Joule)

t: tiempo (s)

ρ : densidad del agua de mar: 1.020 (kg/m³)

g: aceleración de la gravedad: 9,81 (m/s²)

H: altura de onda (metro)

Cg: velocidad de tren de ondas (m/s)

Por ejemplo:

En el caso que llegue un tren de olas de 2 metros de altura (H = 2 metros) con un período de 20 segundos (T = 10 s) tendríamos una potencia por cada metro de frente de onda (KW/metro) = (2 m)² x 10 s = 40 kW/metro de onda

Ubicación de los dispositivos

Este proyecto fue pensado para la creación de "parques modulares para el aprovechamiento de la energía undimotriz"; la idea es reunir una serie de estos dispositivos para satisfacer los requerimientos energéticos de una comunidad que, en principio, estaría alejada del sistema interconectado de provisión de energía eléctrica.

Además estos "parques" podrían aplicar los excedentes de energía a industrias, la carga de baterías, la generación de hidrógeno o incluso en un futuro como proveedor del Sistema Interconectado Eléctrico Nacional. Los parques de energía estarían ubicados a distancias medias de la costa y el traslado de la energía se realizaría mediante un cableado submarino donde se ubicaría la estación de transformación y distribución de la corriente eléctrica.

A los efectos de minimizar el impacto ambiental, ambos aspectos fueron especialmente considerados pues existe en los integrantes de este proyecto una acentuada vocación por el cuidado del ambiente.

El planteo para el diseño del prototipo experimental se realizó proponiendo a la costa de la Ciudad de Mar del Plata como escenario, allí el promedio de ondas es de 1,2 metros y además tenemos un campo de trabajo con una profundidad que va de los 5 a 10 metros. Este sitio resulta conveniente por la proximidad a la ciudad de Buenos Aires y la logística que puede brindar tanto la Universidad Nacional de Mar del Plata como la delegación de la Universidad Tecnológica Nacional.

Finalmente el grupo de trabajo del área oceanográfica ha determinado que el área patagónica especialmente en las provincias de

Chubut y Santa Cruz presenta diversos sitios donde este aprovechamiento tendría las mejores condiciones de trabajo.

Planteo ambiental

La energía generada a partir de este dispositivo debe ser catalogada como "energía limpia"; esta definición se basa en que no se produce ningún vertido de productos tanto gaseosos como líquidos al medio ambiente, únicamente se aplica la transformación de la energía undimotriz en energía eléctrica mediante un dispositivo electromecánico. No se generan productos residuales ni se emite dióxido de carbono al ambiente; desde el inicio se convino que la realización del proyecto tomaría en cuenta las leyes y las regulaciones inherentes al cuidado del ambiente.

La instalación de los dispositivos se realizaría en lugares específicos de la superficie oceánica que se denominarán "parques modulares de energía undimotriz". En este escenario, la disposición de los dispositivos tendría carácter de semi sumergidos a una distancia media o lejana de la costa y además el cableado sería subterráneo. Las unidades de transformación de la energía eléctrica se situarían en forma discreta en la costa; por lo tanto el proyecto tendrá un bajo impacto visual.

El impacto de esta propuesta resulta muy bajo si la comparamos con la masiva utilización de los aerogeneradores eólicos situados

en áreas off shore de Holanda y Dinamarca tal cual se puede apreciar en la Fig. 10.

Tanto los materiales de construcción como las pinturas y los productos lubricantes deberán pasar por los controles de calidad que certifiquen su biodegradabilidad y su bajo impacto. Estos parques ocuparán un reducido espacio en el suelo marítimo; sin embargo se realizarán estudios en cada lugar para determinar qué efecto tendrán para la actividad turística y si hubiera, para la pesca comercial. Se considerarán los aspectos vinculados a la posible modificación del régimen de flujo de las corrientes marinas para evitar cambios en la morfología de las costas o generar cambios significativos en la flora y la fauna marina.

Conclusiones

En un futuro cercano las matrices energéticas estarán constituidas por las energías renovables, por lo tanto debemos estar preparados para ello, nuestro potencial en biomasa es enorme y resulta sin duda una clave de nuestra economía (agricultura, ganadería y biocombustibles), los avances en energía eólica y solar son indicios que estamos entendiendo lo que sucede y nos estamos preparando, ahora nos falta dar un paso más y ser pioneros en la búsqueda de otras alternativas que resultan de potenciales indiscutidos tal como aquellas derivadas del mar.

Las ondas marinas son una fuente de energía

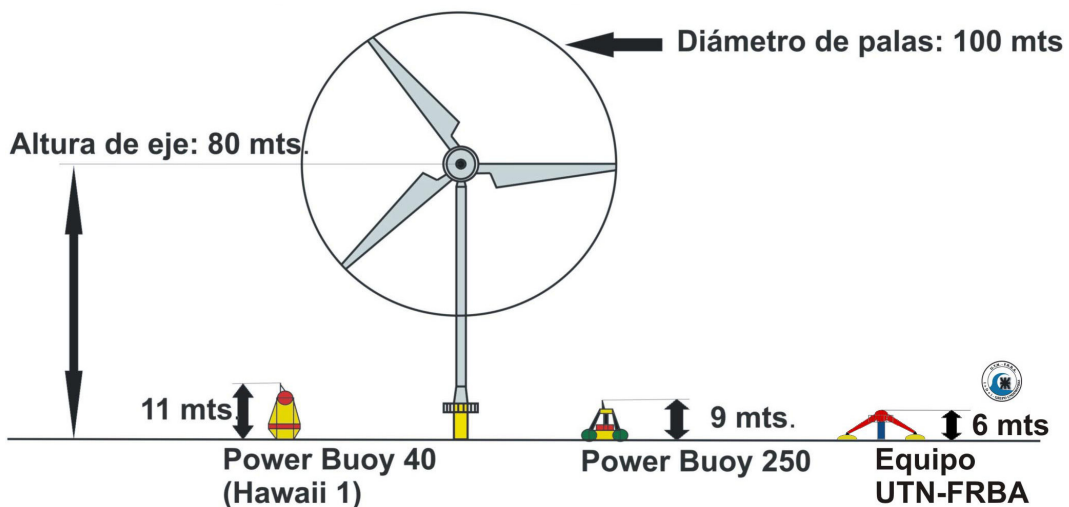


Fig. 10. Comparación del Impacto Visual

inagotable y limpia es decir representa una excelente oportunidad para la generación de energía eléctrica en forma sustentable.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a las autoridades del Departamento de Ingeniería Mecánica y a la Secretaría de Ciencia,

Tecnología e Innovación Productiva de la UTN FRBA quienes, brindan su apoyo constante para el continuo crecimiento de este proyecto. Además queremos hacer mención al Dr. Walter Legnani, Director de Ciencia y Tecnología del Rectorado de la UTN quien con su aliento y consejos permitió la concreción formal de este grupo de investigación.

Referencias

- AHAMMED, A.K.M.R, NIXON, B.M, (2006) " Environmental impact monitoring in the EIA process of South Australia". *Environmental Impact Assessment Review*, 26, 426-447, Australia.
- CARTA GONZÁLEZ, J. A.; CALERO PÉREZ R., COLMENAR SANTOS A., ALONSO, FALTA INICIAL DEL NOMBRE, CASTRO GIL M. (falta año) "Centrales de energías renovables". Editoriales: UNED y Pearson Prentice Hall, España
- DAS NEVES GUERREIRO, R. J.; CHANDARE S. M., (2010) "Wave power potential in Gulf of San Jorge. Patagonia, Argentina". Congreso Mundial de Ingeniería. Buenos Aires, Argentina.
- DORIAN, J., (2005) "Global Challenges in energy". *Viewpoint. Energy policy*, 34, 1984/91. US.
- HUERTAS-OLIVARES, C., (2006) " The EIA approach to wave energy within the European Research Training Network Wavetrain". International Conference on Ocean Energy, Bremerhaven, Germany.
- IBAÑEZ, P., (2006) " Energía Marina: Situación actual y perspectivas". Workshop Red de Pilas de Combustible, Baterías e Hidrogeno, Sevilla, España.
- LEGAZ POIGNON, R., (2006) "Energía Marina: Desarrollo de una planta de energía de las olas en el Cantábrico". 2º Jornada Internacional sobre Energía Marina, Bilbao, España.
- PEIDRO, C. y FERNÁNDEZ, R., (2006) "Análisis ambiental de las energías renovables, verdes más verdes". Comunicaciones a la Conferencia Internacional sobre Energías Renovables y Tecnologías del Agua, Almería, España.
- SARMENTO, A., (2004) "Non-technical barriers to large-scale wave energy tilization" International conference on new and renewable energy technologies for sustainable development, Evora, Portugal.
- ROSS, D., (1979) "Energy from waves" Pergamon, (1995) "Power from the waves" Oxford University Press, (2001) "Scuppering the waves" Open University Network for alternative Technology, UK.
- THORPE, T. W. (1999) "A brief review of wave energy" UK Department of Trade and Industry, UK. Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos de Norteamérica. Programa Wavewatch III. Fuente para la obtención de las condiciones oceánicas.
- Niveles extremos de mareas observadas en la provincia de Buenos Aires. Servicio de Hidrografía Naval Argentino.
- Técnicas que aprovechan la energía de las olas. <http://libros.redsauce.net/>
- World Energy Statistics and Balances. 2008. National Renewable Energy Laboratories. US. -2011-

Dispositivo electrónico de ayuda para personas hipoacúsicas

José Manuel Gallardo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires
Medrano 951, (C1179AAQ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
jmg@df.uba.ar

Recibido el 21 de Junio de 2011, aprobado el 4 de agosto de 2011

Resumen

En este trabajo se presenta el desarrollo de un dispositivo, de bajo costo, de ayuda para personas con disminución auditiva, hipoacusia, quienes normalmente utilizan audífonos o poseen implantes cocleares. Por medio de inducción electromagnética de audio frecuencias sobre una espira, este dispositivo, evita los inconvenientes que se originan al utilizar audífonos o implantes, en ambientes ruidosos, mejorando la inteligibilidad de la palabra y por consiguiente la calidad de vida del usuario.

PALABRAS CLAVE: DISPOSITIVO - HIPOACUSIA – AUDÍFONOS - INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA – ESPIRA

Abstract

This paper presents the development of a low cost support device, for people with hearing loss who normally use headphones or have cochlear implants. Through audio frequency induction loop, avoids the disadvantages that arise when using hearing aids or cochlear implants in noisy environments, improving the intelligibility of speech and therefore the quality life for users.

KEYWORDS: DEVICE – HEARING LOSS – HEADPHONES – INDUCTION - LOOP

Introducción

Los individuos con disminución auditiva, hipoacusia, deben adoptar elementos que mejoren su escucha, como audífonos y en otros casos, implantes cocleares. (Yankel Pasik y colaboradores, 1994). Utilizar estas interfaces, en ambientes ruidosos, o donde los niveles de señal sean dispares, estaciones de subterráneos, ómnibus, teatros, cines, colegios, aeropuertos, etc., hace extremadamente difícil la inteligibilidad de la información. Es necesario entonces, que la misma llegue en forma directa al audífono.

La mayoría de los audífonos, poseen un interruptor que conmuta el micrófono, por una bobina captora, modo "T" (Teléfono), la cual mediante acoplamiento inductivo con el auricular del teléfono, recibe las señales eléctricas y permite realizar conversaciones, evitando ruidos del ambiente y retroalimentaciones indeseables. (Douglas y colaboradores, 2006).

Haciendo uso de esta bobina captora, en ambientes ruidosos, se utiliza el denominado "Lazo o Aro Magnético", una espira de alambre de cobre, ubicada en el perímetro del recinto donde se desplazará la persona con su audífono en "modo T". Este lazo es excitado por una fuente de señal, que lleva el mensaje y por medio de inducción magnética, dentro del lazo se recibirá la información transmitida, en el audífono (Greenemeier, 2010; Myers, 2002). Para llevar a cabo esto se necesita en principio, un amplificador que sea capaz de excitar con una señal proveniente de un micrófono u otra fuente, al lazo que entregara la intensidad de campo necesaria para cubrir una determinada superficie, donde será captada por el receptor (audífono) (Bohn, 1986).

El dispositivo desarrollado en este trabajo, se destaca por la simplicidad de diseño, la calidad de sonido, el consumo de energía de bajo costo y por contemplar las normas europeas para el diseño de los denominados, "Audio Frequency Induction Loops". En el país no existen aún, normativas al respecto. Esta presentación cuenta con una mejora sustancial, respecto del dispositivo realizado en 2005, que fue declarado de interés para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, por el Honorable Consejo Deliberante (Exp.2499-D-2005) y además motivó, la Ley Nº 1.870 (2006) "Obligación de insta-

lar Sistemas de Audición para hipoacúsicos en todos los cines y teatros de la Ciudad" (The Nordic Committee on Disability ,1992).

Parte experimental

Modelo del lazo magnético

Se desarrolló un modelo circuital del lazo, con una espira de forma cuadrada.

Este modelo representó a un lazo magnético de aproximadamente 20m de longitud, ubicado en el perímetro, de una habitación de 5m*5m de superficie.

Se utilizó para realizar las simulaciones el software libre, Ltspice de Linear Technology (Cheng, 1996; Godel, 2000; Linear Technology, 2010).

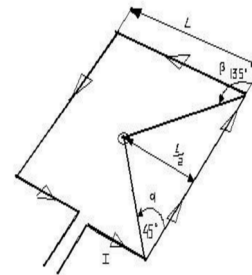


Fig.1. Espira o lazo cuadrado

Analizando la Fig. 1 tenemos:

La inducción magnética es: $B = \mu_0 \times H$ (1)
B: Inducción Magnética [Gauss]
H: Intensidad de Campo Magnético [A/m²]
 μ_0 : Permeabilidad Magnética $4 \pi \times 10^{-7}$ [H/m]

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi L} [\cos(\alpha) - \cos(\beta)] \quad (2)$$

Donde:

I: Corriente A

L: longitud total espira [L/2m]

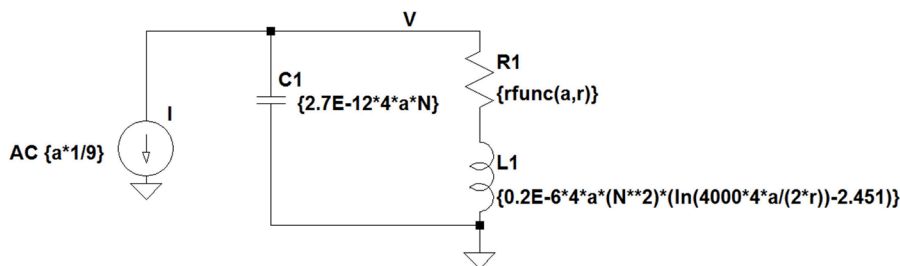
α : Ángulo corriente entrante en la espira

β : Ángulo corriente saliente de la espira

Reemplazando (1) en (2) y simplificando tenemos:

$$H = \frac{I}{4\pi L / 2} [\cos(\alpha) - \cos(\beta)]$$

$$H = \frac{I}{2\pi L} [\cos(45^\circ) - \cos(135^\circ)]$$



a= lado de la espira (m)
r= radio conductor espira (mm)
N=n° espiras

```
.func rfunc(a,r) {((1.7E-8*4*a)/(Pi*pow(r,2)))}
.params a=5 r=0.25E-3 N=1
.step param a LIST 2 3 4 5 10
.step param r LIST 0.2E-3 0.5E-3 0.7E-3 1E-3
.step param N LIST 1 3 5
.ac dec 150 100 5k
```

Fig.2. Modelo lazo magnético

Considerando que la espira tiene 4 lados:

$$H = \frac{2\sqrt{2}I}{\pi L} \therefore H = \frac{0,90I}{L}$$

Siendo la intensidad del campo necesaria en el centro de la espira, de aproximadamente 100 mA/m. (The Nordic Committee on Disability, 1992; Douglas y colaboradores, 2006)

$$0,10 = \frac{0,90I}{L} \text{ donde } I = \frac{L}{9}$$

Este valor de I, se considera inicial, pues en el cálculo no se tomó en cuenta la distancia del audífono a la espira, aproximadamente 1,20m y la posibilidad de situarse en una esquina de la misma.

La resistencia de lazo será:

$$R = \frac{\rho a}{S}$$

Donde:

ρ : Resistencia específica del Cobre [1,7 x 10⁻⁸ Ωm]

a: Longitud total de espira; a= L x 4 [m]

S: Superficie del conductor; S= πr^2 [m²]

Para determinar la inductancia y capacitancia del lazo, se utilizaron las siguientes ecuaciones empíricas, para inductores cuadrados:

$$Ind = 0,2a \left[\ln\left(\frac{4000a}{d}\right) - 2,451 \right]$$

Donde:

Ind: Inductancia espira [μH]

a: Longitud espira; a= L x 4 [m]

d: Diámetro conductor [mm]

$$C = 2,7a$$

Donde:

C: Capacidad de la bobina [pF]

a: Longitud total espira; a=L x 4 [m]

El modelo que se obtuvo es el de la Fig. 2

Análisis del modelo

Las mediciones efectuadas al modelo, para determinar sus características, con una intensidad de campo de 100 mA/m se representan dichas mediciones según: Impedancia lazo en función del diámetro conductor en la Fig. 3; Impedancia del lazo en función del número de espiras en la Fig. 4 y Tensión lazo en función del número de espiras en la Fig. 5.

A partir del análisis de los gráficos se determinó que el diámetro más indicado para el conductor del lazo, es de 0,4mm y, es necesaria una sola espira.

Diseño de la etapa amplificadora

La Fig. 6 muestra el circuito de la etapa amplificadora, la cual se diseñó para lograr una gran simplicidad, mínimo consumo de energía, una aceptable distorsión armónica y un ancho de banda de 100Hz a 5kHz (Gray y colaboradores, 2002; Snyder, 1991).

La inclusión de R16 y C8, conforman la red de Zobel que minimiza la componente inductiva del lazo, atenuando los impulsos en los cruces por cero de la señal, contribuyendo en la disminución de la distorsión (Marshall, 2001).

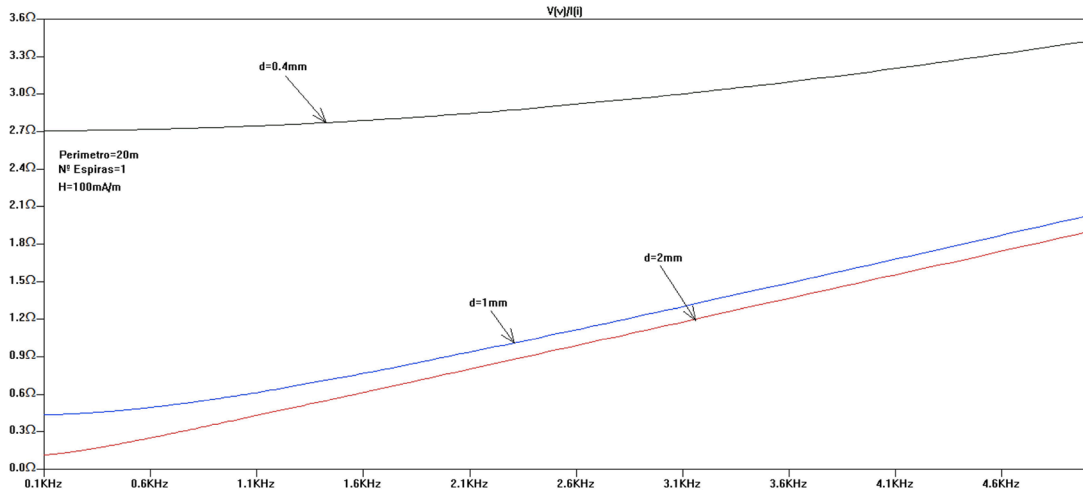


Fig.3. Impedancia lazo para diferentes diámetros de conductor

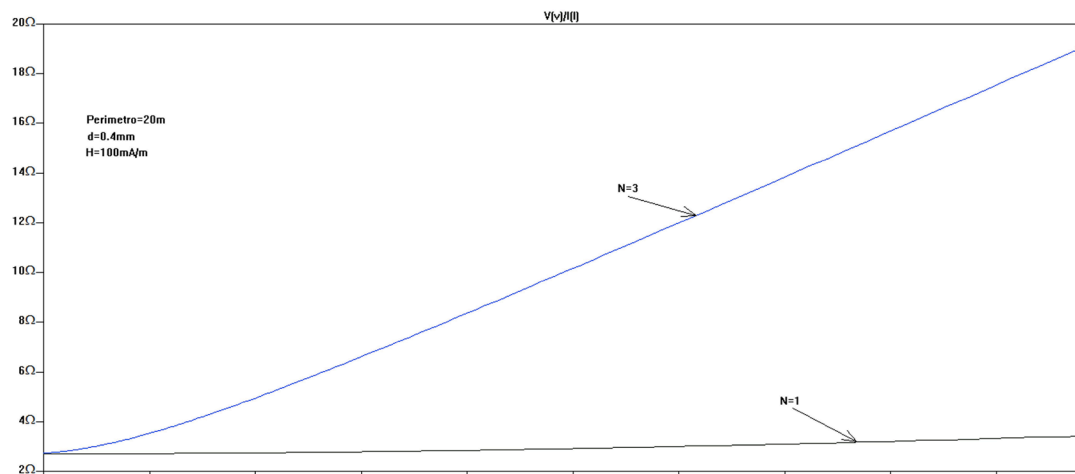


Fig.4. Impedancia lazo para diferente nº de espiras

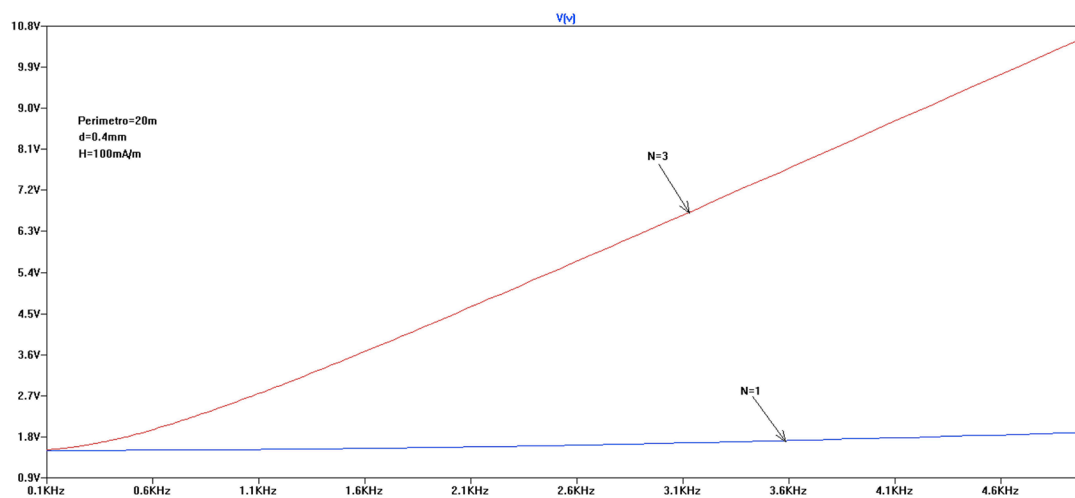


Fig.5. Tensión lazo para diferente nº de espiras

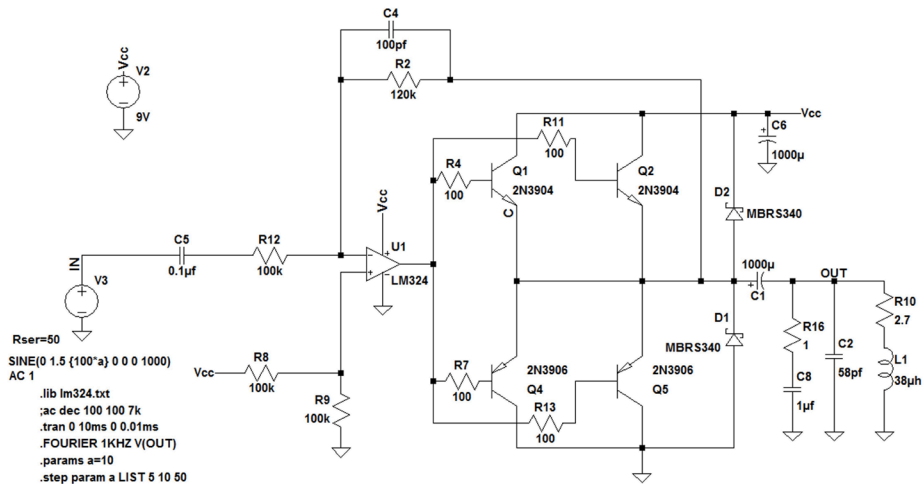


Fig.6. Circuito amplificador

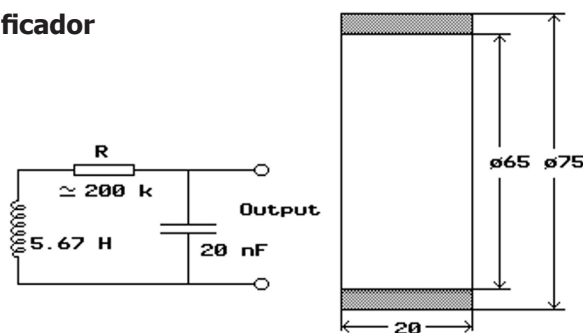


Fig.7. Sonda medición intensidad de campo

Armado del prototipo y pruebas

Para realizar el circuito impreso se utilizó Eagle Light, software libre de Cadsoft.

La placa del circuito impreso se realizó en epoxy, utilizando doble faz (Cadsoftusa, 2010).

Se midió el amplificador, con una carga resistiva pura de 2 ohms, con una señal de entrada de 2 Vpp y se corroboraron los valores arrojados en la simulación.

Se cargó al mismo con el lazo, en una habitación similar a la propuesta al inicio de los cálculos, se realizaron escuchas con audífono y mediciones con la sonda de la Fig. 7, para determinar la intensidad del campo magnético, ancho de banda y distorsión armónica total (THD%) (The Nordic Committee on Disability, 1992).

Resultados y discusión

La confección de un modelo del lazo magnético permitió determinar fácilmente el tipo de con-

ductor necesario para realizar la espira, poder diseñar el amplificador y someter el conjunto al análisis, previo a su construcción.

Las mediciones logradas con el prototipo en una habitación casi cuadrada, con el lazo sobre el piso y con la sonda a una altura de aproximadamente 1,20m y alejados del centro, fueron de aproximadamente 100 mA/m, con una corriente de 550 mA en el lazo y con una excitación de señal senoidal de 1kHz en la entrada del amplificador. La medición del ancho de banda se realizó en las condiciones mencionadas pero cambiando la frecuencias de excitación hasta lograr en la sonda una disminución de 3dB de la tensión, tanto en frecuencias inferiores como superiores a 1kHz, medida mediante voltímetro de audio y osciloscopio. Comparando esta medición con la simulación, en iguales condiciones a las reales, corriente de salida de 550 mA y la carga representada por el modelo del lazo, se obtuvieron valores similares.

La medición de la THD%, se realizó en idénticas condiciones, ingreso al amplificador 1Khz, con el lazo como carga, corriente salida

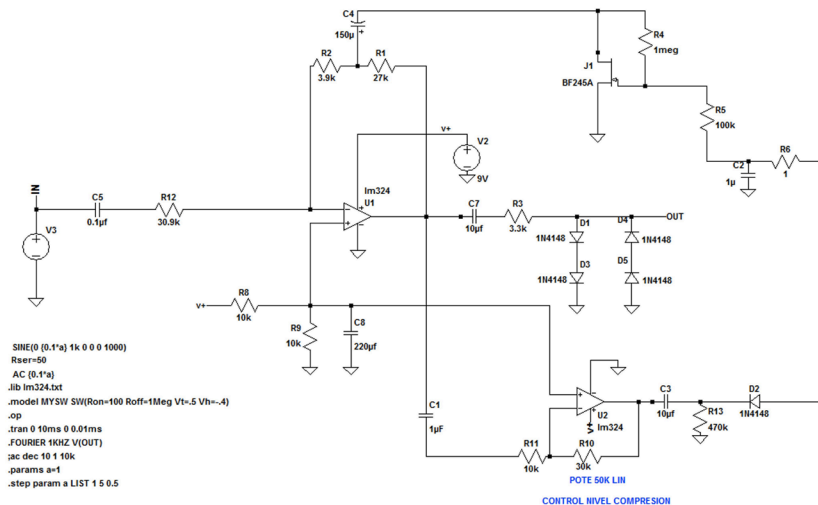


Fig.8. CAG y limitador

550mA, equivalente a una intensidad de campo 100mA/m, se midió en este caso la THD%, sobre el lazo. Las mediciones fueron realizadas mediante simulación, pues en mediciones reales, efectuadas con cargas resistivas equivalentes al lazo, el medidor acusaba valores de THD% menores que el simulador que mide con distorsiones de al menos hasta el décimo armónico, además por un problema de repetibilidad de la medición con la carga real, se optó por realizarlas mediante simulación.

En la prueba efectuada con el audífono se verificó que su bobina captora es mucho más sensible por lo cual con una intensidad de campo mucho menor, 50 mA/m, la escucha era muy aceptable. En esta prueba se comprobó la importancia de mantener lo más constante posible el campo, por lo cual se diseñó un control automático de ganancia (CAG) y un sencillo limitador Fig.8 (Mancini, 2000; HeadWize Design Paper, 2004).

Estos ensayos también determinaron que el usuario del sistema "lazo magnético – audífono", está parcialmente aislado de su entorno, pudiendo esto en determinadas situaciones, resultarle peligroso. Por ello se le ha adicionado al sistema una segunda entrada para un micrófono auxiliar, que luego de que la señal sobrepase un determinado umbral, ajustable, pueda ser escuchado por el portador del audífono.

Si bien el área de cobertura del dispositivo, es de aproximadamente 25 metros cuadrados, esto permite determinar un sector especial-

mente dedicado para usuarios de audífonos, debidamente señalado con la simbología reconocida universalmente como lo muestra la Fig. 9. En espacios de mayores dimensiones como cines, estadios, teatros, etc., es posible la conexión en paralelo de varios dispositivos para lograr un área de cobertura superior, considerando los efectos de inducción que se pueden dar entre lazos contiguos, minimizándolo con una separación entre ellos.

Las características finales del equipo son presentadas en la Tabla 1.



Fig.9. Símbolo lazo magnético

Tensión de Trabajo	9Vcc
Corriente Máx.	0.8A
Ancho de Banda	100Hz a 5Khz
Diámetro Conductor Lazo	0.4mm
Longitud Lazo	20m
Intensidad Campo Magnético	100mA/m
Área Cobertura	25m cuadrados
Distorsión Armónica Total Amplificador y Lazo Magnético	< 1%, sin actuar limitador

Tabla 1 Características Lazo

Conclusiones

En este trabajo se presentó un simple dispositivo de ayuda a personas hipoacúsicas de muy bajo costo, correspondiente a un desarrollo anterior del autor. Esta evolución proporciona mejoras en cuanto al consumo de energía, la interacción con el medio, la normalización y la

calidad de sonido. Con estas características, es de esperar, no solo su uso doméstico, sino, además lograr su incorporación en espacios públicos, con las consideraciones expuestas anteriormente para contribuir así a la mejora de la calidad de vida, en las personas hipoacúsicas.

Referencias

- BOHN, D. (1986) AUDIO HANDBOOK. National Semiconductors Corporations.
- Cadsoftusa (2010) <http://www.cadsoftusa.com/freeware.htm>
- CHENG, D. K. (1996) Fundamentos de Electromagnetismo para Ingeniería. Addison-Wesley Iberoamericana.
- DOUGLAS L.; BECK A. D. (2006) T-Coils: Beyond the Telephone. Oticon, Inc.,
- GODEL, A. (2000) Tecnología Electrónica. Editorial Rocamora.
- GRAY, P. R.; MEYER R. G. (2002) Analysis and Design of ANALOG INTEGRATED CIRCUITS. Third Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- GREENEMEIER, L. (2010) Loopy idea brings in speech loud and clear. Scientific American, Inc.
- HeadWize Design Paper (2004) "Designing A Limiter for Headphone Amplifiers", http://www.headwize.com/projects/limiter_prj.htm
- Linear Technology (2010) "SwitcherCAD III/LTspice Users Guide" <http://ltspice.linear.com/software/scad3.pdf>
- MANCINI, R. (2000) Op amps for everyone. Texas Instruments.
- MARSHALL, L. W. (2001) Introduction to Electroacoustics and Audio Amplifier Design, Second Edition. Kendall Hunt.
- MYERS, D. G. (2002) The Coming Audiocoil Revolution. Hearing Review.
- SNYDER, W. (1991) Audio Amplifier Design. Third Printing August 1991, New England ANALOG.
- The Nordic Committee on Disability (1992) Measurement methods and requirement specification for induction loop systems.
- PASIK Yankel y colaboradores (1994) Audioprótesis, enfoque médico, fonoaudiológico y electroacústico. Buenos Aires, Librería El Ateneo editorial.

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, Mg. 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 (21 cm x 29,7 cm) 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 1 cm 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.

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

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

En hoja aparte se indicará el tipo de procesador de texto utilizado y la versión correspondiente.

Los autores deberán presentar su trabajo en soporte electrónico y diagramado en la forma propuesta para la versión final impresa.

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 300 ppi, 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.

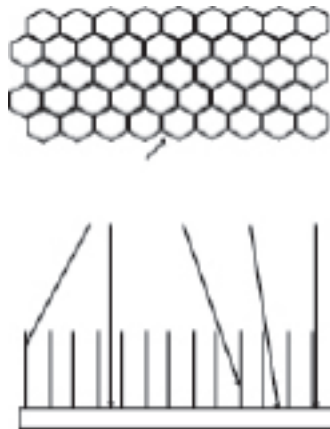


Figura 1. Ejemplo de ubicación de la figura y su leyenda explicativa (centrada, en negrita y fuente 10)

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, los trabajos serán enviados a los autores. Cuando se trate de cumplir con modificaciones sugeridas por los árbitros, los trabajos serán sometidos 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.

Doctorado, Maestrías y Carreras de Especialización

Doctorado en Ingeniería

Mención en Procesamiento de Señales e Imágenes

Magíster en Administración de Negocios

Magíster en Docencia Universitaria

Magíster en Ingeniería Ambiental

Magíster en Ingeniería en Calidad

Magíster en Ingeniería en Sistemas de Información

Magíster en Tecnología de los Alimentos

Magíster en Procesos Biotecnológicos

Especialista en Docencia Universitaria

Especialista en Ergonomía

Especialista en Higiene y Seguridad en el Trabajo

Especialista en Ingeniería Ambiental

Especialista en Ingeniería en Calidad

Especialista en Ingeniería en Sistemas de Información

Especialista en Ingeniería Gerencial

Especialista en Tecnología de los Alimentos

Cursos de Posgrado

Dirección de Empresas

Higiene y Seguridad del Trabajo

Automación Industrial

Formulación y Evaluación de Proyectos

Sistemas Integrados de Gestión-Calidad, Medio Ambiente y Salud, y Seguridad Ocupacional

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 gráficos Forma Color
Impresores S.R.L. Camarones 1768 (C1416ECH),
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
Octubre de 2011**