

5ª Jornadas
CyTAL
2012 

FACULTAD REGIONAL VILLA MARÍA

5ª Jornadas de
Ciencia y Tecnología

**Memorias de
Trabajos
Presentados**

Compilación:
Ing. Marcelo Cejas
Ing. Javier Gonella



Memorias del congreso de ingeniería / compilado por Marcelo Cejas. - 1a ed. - Córdoba :
Gráfica Del Sur Ediciones, 2012.
221 p. ; 22x15 cm.

ISBN 978-987-28398-1-9

1. Ingeniería. 2. Actas de Congresos. I. Cejas, Marcelo, comp.
CDD 620.711

Fecha de catalogación: 03/08/2012

Libro impreso en Gráfica Del sur / Manuel Lucero 67 / Córdoba / Argentina
www.graficadelsur.com

**Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra,
por cualquier medio o procedimiento sin permiso previo
del editor y/o autor.**

**LIBRO DE EDICIÓN ARGENTINA
QUEDA HECHO EL DEPÓSITO QUE MARCA LA LEY 11.723**

ISBN 978-987-28398-1-9



9 789872 839819

5ª Jornadas
CyTAL
2012 

V Jornadas de Ciencia y Tecnología para Alumnos

Villa María – Córdoba – Argentina

15 y 16 de Agosto de 2012

Nómina de Autoridades U.T.N. Facultad Regional VILLA MARIA

DECANO

Ing. Pablo Andrés ROSSO

VICEDECANO

Ing. Roberto Bergero

SECRETARÍA GENERAL

Ing. Franco Martín SALVATICO

SECRETARÍA ACADEMICA

Ing. Odilia Martha BRUN

SECRETARÍA DE EXTENSION UNIVERSITARIA

Ing. José Luis CATALANO

SECRETARÍA DE ASUNTOS ESTUDIANTILES

Ing. David Jesús BELAMATE

SECRETARÍA ADMINISTRATIVA

Ing. Norberto Gaspar CENA

DIRECCIÓN DE GRADUADOS

Ing. Fernando Martín CORDOBA

CENTRO DE INFORMÁTICA Y COMUNICACIONES

Ing. Sebastián Norberto MUSSETTA

UNIDAD DE VINCULACIÓN TECNOLÓGICA

Lic. Daniel Nicolás CORREA

DIRECTOR DE DEPARTAMENTO MECANICA

Ing. Jorge Antonio Scausso

DIRECTOR DE DEPARTAMENTO ELECTRONICA

Ing. Marcelo Oscar Cejas

DIRECTOR DE DEPARTAMENTO QUIMICA

Ing. Luis Alberto Toselli

DIRECTOR DE DEPARTAMENTO BASICAS

Ing. Roberto Bergero

DIRECTOR DE DEPARTAMENTO LIC. EN ADM. RURAL

Cd. Sergio Miguel Gilabert

DIRECTOR DE ADMINISTRACION

Sr. Alejandro Edmundo Heredia

DIRECTOR DE RECURSOS HUMANOS

Sra. Miriam Natividad Sogno

Sobre finales del año pasado, en una reunión que mantuve con el Ingeniero Marcelo Cejas, me comentaba sobre su deseo de publicar un libro que pudiera contener todo lo acontecido en el "V Congreso de Ciencia y Tecnología para Alumnos (CyTAL)" que se iba a realizar en nuestra Casa en el año 2012.

Hoy tenemos la satisfacción y el orgullo de haber convertido a ese deseo en realidad y la posibilidad concreta de mostrar a la sociedad en su conjunto, los treinta y siete trabajos de investigación que forman parte de este quinto congreso.

Para alcanzar este objetivo, tuvimos que recorrer de manera previa un camino interesante, que sin lugar a dudas ha servido para poder estar hoy presentando este primer ejemplar impreso.

Hace casi dos años atrás, iniciamos las gestiones para publicar los diferentes trabajos que formaron parte de los cuatro congresos anteriores, y las pudimos concretar, gracias a la predisposición y al esfuerzo conjunto de los miembros de la editorial de nuestra universidad y nuestra área de ciencia y técnica. En el portal de nuestra editorial www.edutecne.utn.edu.ar, se encuentran los libros electrónicos que corresponden a nuestros congresos de ciencia y tecnología, a saber: I (año 2004, 12 trabajos), II (año 2006, 18 trabajos), III (año 2008, 20 trabajos) y IV (año 2010, 19 trabajos).

Y aquí quiero detenerme a agradecer y resaltar la existencia institucional de este congreso, que tiene el noble objeto de permitir a los estudiantes de grado y de posgrado, llevar adelante actividades de investigación, con el acompañamiento y la evaluación de la comunidad científica, para posteriormente poder ser presentados a la población en general. Los que se atrevieron a dar el paso innovador y a convertir esta idea, en una política de nuestra institución fueron El Ing. Juan Carlos Peretti (Decano de nuestra Casa entre los años 2002 y 2010) y el Mg. Luis Toselli (Secretario de Ciencia y Tecnología de la Casa entre los años 2005 y 2010).

Cumplimentado el proceso de la publicación virtual y habiendo recibido positivas críticas sobre los mismos, comprendimos la oportunidad de animarnos a dar un nuevo paso y aquí nos tienen.

Anteriormente, resaltaba la importancia de haber definido una actividad científica dirigida al sector estudiantil como política institucional,

(este congreso tiene respaldo de funcionamiento por resolución de nuestro Consejo Directivo) ya que es te tipo de líneas de trabajo, fortalecen sin ningún lugar a dudas la proyección de nuestros jóvenes mas allá de lo establecido ministerialmente en s u currícula de for mación profesional. También estoy convencido de que este tipo de políticas profundizan la integración entre los claustros estudiantil y docente y eso ha de proporcionar fuertes lazos que han de permitir una retroalimentación sobre las distintas cátedras que seguramente ha de redundar en importante s beneficios en los procesos convencionales de formación académica.

Desde una postura positiva, intento tra nsmitir que estamos evidenciando cambios de comportamiento en lo s estudiantes y en los docentes, que se sustentan en un interés cada vez mayor por participar en actividades relacionadas con la investigación, la innovación y la transferencia. Notamos el deseo, la ansiedad, pero por sobre todo el compromiso y la dedicación de llevar la capacidad de nuestros claustros al fortalecimiento del ámbito científico.

Lo anterior no es un cambio de paradigma, lo anterior no es haber abandonado nuestras raíces tecnológicas o de nuestr a universidad obrera, es más bien haber incorporado nuevos valores que han de ser seguramente muy sustanciales en el futuro de nuestra universidad.

El tema que nos ocupa en esta publicación habla de treinta y siete trabajos de investigación. De los treinta y siete, treinta y uno corresponden a trabajos realizados por estudiantes de grado y los seis restantes a trabajos realizados por estudiantes de posgrado.

Los trabajos anteriores poseen una participación de setenta y cuatro miembros de la comunidad estudiantil, y treinta y tres docentes en carácter de tutores y jurados de las distintas exposicio nes. Lo que arroja un total de participación de más de cien miembros de nuestra comunidad tecnológica.

Las áreas comprendidas son: Química con diecinueve trabajos, Electrónica con nueve trabajos, Mecánica con cuatro trabajos, Sistema de Información con dos trabajos y Administración Rural con un trabajo.

Los trabajos tienen un formato establecido similar al de los congresos nacionales de Ciencia y Tecnología para permitir a los estudiantes adaptarse a las normas que los mismos imponen, dando así la posibilidad de iniciarse en el camino de la publicación de sus investigaciones.

Hay un dato muy interesante a tener en cuenta, en este congreso se ha permitido la participación de trabajos que provengan de otras facultades regionales. En esta ocasión se han recibido trabajos de las hermanas regionales de San Francisco, Córdoba y Rosario. Los trabajos aprobados son once e involucran a veintinueve miembros.

Pero al frío de los números, en este caso muy positivos para el V Congreso, me gustaría rescatar lo atinado que ha sido la estrategia y la organización del área de Ciencia y Tecnología; al permitirse plantear objetivos superadores, que han recibido como respuesta una importante adhesión a nivel interno (en nuestra Facultad) y a nivel externo (en nuestra Universidad).

Es oportuno también utilizar este espacio para rescatar la participación de los estudiantes en este congreso. Lo que los autores de estos trabajos han realizado a través de su participación es muy importante para todos nosotros como comunidad universitaria. Esta actividad principalmente extra-áulica, no hace más que demostrar el compromiso y la gratitud del sector estudiantil para con la sociedad toda; no hace más que fortalecer los sueños de ésta, de que el futuro de nuestro país estará forjado con profesionales que comprenden la necesidad de confrontar las distintas problemáticas con una herramienta tan pero tan interesante como es el conocimiento. Mi profundo respeto y admiración para todos ustedes, para los que de una u otra forma en estos cinco congresos han contribuido a promocionar una actividad tan importante en el sistema universitario como es la investigación.

Para finalizar me gustaría agradecer y resaltar el esfuerzo de todas aquellas personas que de un modo u otro han colaborado para hacer realidad este quinto congreso y este primer ejemplar denominado "Memorias de Trabajos Presentados – 5º CyTAL 2012". Pero muy especialmente a los miembros del Consejo Directivo, a los miembros de la Comisión de Ciencia y Tecnología de nuestra Facultad, al Ing. Marcelo Cejas, a los Docentes que participaron en calidad de tutores y evaluadores, y a todos los estudiantes que presentaron sus trabajos en este congreso y en los anteriores.

Invito a los señores lectores a disfrutar de esta obra, recomendando y atreviéndome a sugerir, no dejar de tener presente en la lectura de cada

trabajo; que los mismos han sido realizados por personas jóvenes que tienen sueños, que aspiran y demandan de nuestros adultos más experimentados, el acompañamiento para convertir esos sueños en realidad.

Ing. Pablo Andrés Rosso
Decano FRVM

EQUILIBRIO LÍQUIDO-LÍQUIDO EN MEZCLAS CONTENIENDO GLICERINA

Alfonsina E. Andreatta^{1,2*}; María B. Longo¹; Carolina M. Utrera¹; Matías R. Saavedra¹

- 1) Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional San Francisco. Av. de la Universidad 501 (2400) San Francisco, Córdoba, Argentina.
- 2) IDTQ- Grupo Vinculado PLAPIQUI – CONICET. Av. Vélez Sarsfield 1611 (X5016GCA) Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.
*E-mail: aandreatta@plapiqui.edu.ar

Resumen

En este trabajo se determinaron mediciones de solubilidades mutuas entre la glicerina con pentano, hexano, heptano y etil acetato a temperaturas entre 25-75 °C y curvas binodales del sistema ternario etil acetato + metanol (o etanol) + glicerina entre 30 y 50 °C. Las solubilidades mutuas se determinaron mediante la evaporación del componente volátil de la mezcla binaria mientras que las curvas binodales fueron realizadas mediante un análisis turbidimétrico, usando el método de titulación en condiciones isotérmicas. En base a los resultados obtenidos se puede predecir la factibilidad del uso de la glicerina en la separación de mezclas azeotrópicas de etil acetato-metanol y etil acetato-etanol, mediante extracción líquido – líquido.

1. Introducción

En estos días la glicerina es mencionada por todas partes debido a que es un subproducto obtenido de la transesterificación de triglicéridos en la producción de biodiesel. La misma impacta negativamente en las propiedades de este biocombustible y los beneficios de su venta comercial reduce en un 22-36% los costos de su producción mejorando la viabilidad económica^[1]. La glicerina tiene muchos usos importantes como por ejemplo en medicina, farmacia, cosmética, tabaco y el procesamiento de alimentos (aditivo alimentario, edulcorante, solvente, o material de embalaje) y como materia prima en diferentes industrias químicas, por ejemplo, en la producción de acetales, aminas, ésteres y éteres, mono- y di- glicéridos y polímeros de uretano^[2].

La medición del equilibrio líquido-líquido (ELL) tiene un importante rol en el diseño y desarrollo de procesos de separación. Estos datos son esenciales en estudios teóricos, tales como la aplicación y la parametrización de modelos de contribución de grupos tales como GCA-EOS^[3] y A-UNIFAC^[4]. Sin embargo, los valores experimentales de ELL reportados en la literatura frecuentemente muestran discrepancias y muchas veces son escasos. Por ejemplo, sólo se encuentran disponibles valores de solubilidades mutuas de la glicerina con 2-propanona^[5], 2-butanona^[5] y pentanol^[6]. Frente a esta necesidad, se realizaron mediciones de solubilidades mutuas para los sistemas binarios glicerina-alcanos (pentano, hexano, heptano) y glicerina-acetatos (etil acetato) en el rango de temperaturas de 25-75 °C.

A su vez, fueron determinadas curvas binodales para los sistemas ternarios: etil acetato + metanol (o etanol) + glicerina en el rango de 30-50 °C. La presencia de glicerina en estos sistemas ternarios permitiría su uso como solvente/agente separador en la separación de las mezclas azeotrópicas de etil acetato-metanol y etil acetato-etanol mediante extracción líquida evitando de esta forma la destilación convencional, un tanto más dificultosa. Ejemplos del uso de la glicerina como agente separador se encuentran también en el trabajo de Chafer y col.^[7] en las mezclas azeotrópicas isobutil acetato + isobutil alcohol y en el trabajo de Katayama y col.^[5] para las mezclas azeotrópicas 2-propanona + metanol, 2-butanona + etanol y 2-butanona + 2-propanol.

2. Procedimiento experimental

2.1. Materiales

Los reactivos usados de marca Cicarelli, Argentina fueron: hexano (>96 %), pentano (>99 %) metanol (>99.8 %) y etil acetato (>99.5 %) mientras que aquellos de marca Biopack, Argentina fueron: glicerina y etanol, ambos de una pureza >99.5 %. No se llevaron a cabo purificaciones posteriores de los productos.

2.2. Solubilidades mutuas binarias entre la glicerina y pentano/hexano/heptano/etil acetato

La determinación experimental de las solubilidades mutuas se determinó en una celda encamisada de vidrio de aproximadamente 70 mL, provista de un agitador magnético y conectada a un baño termostático con recirculación, cuya estabilidad de temperatura fue de ± 0.2 °C. Una representación esquemática^[9] de la misma se encuentra en la Figura 1.

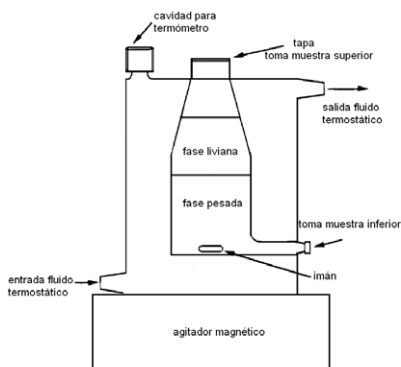


Figura 1. Celda de equilibrio líquido-líquido encamisada utilizada en la determinación de las solubilidades mutuas.

Para estas mediciones, el experimento comenzó con la agitación de la mezcla inmiscible (glicerina + alcanos; glicerina + etil acetato) a la temperatura de estudio durante al menos 60 minutos. A continuación, se dejó reposar aproximadamente 4 horas siempre manteniendo la temperatura de equilibrio constante. Esto condujo a la formación de dos fases separadas por medio de una interfase bien definida. Luego, se retiró cuidadosamente una muestra de cada fase con una jeringa.

La composición de ambas fases se determinó por evaporación del componente volátil de la mezcla binaria (pentano, hexano, heptano, etil acetato). Para ello se utilizó una balanza analítica Denver instrument APX-200, con una precisión de ± 0.0001 g.

El procedimiento realizado fue el siguiente: inicialmente se pesaron los frascos vacíos y seguidamente se tomaron las muestras de cada fase registrándose el peso del frasco más la muestra. Estas muestras se dejaron en estufa a 80 °C durante un lapso de aproximadamente 12 horas y se pesaron nuevamente. La diferencia de peso entre frasco + muestra antes (EI) y después (EF) de la estufa, determinó la cantidad del componente volátil y por ende la fracción en peso del mismo que matemáticamente, se calculó como:

$$W_{\text{comp.volátil}} = \frac{(\text{frasco} + \text{muestra})^{\text{EI}} - (\text{frasco} + \text{muestra})^{\text{EF}}}{(\text{frasco} + \text{muestra})^{\text{EI}} - \text{frasco}} \quad (1)$$

Una vez obtenida la fracción másica del compuesto volátil, se obtuvo la fracción másica de la glicerina (compuesto no volátil) mediante la siguiente ecuación:

$$W_{\text{glicerina}} = 1 - W_{\text{comp.volátil}} \quad (2)$$

A partir de w_i y el peso molecular de cada componente (PM_i), las fracciones molares x_i de los sistemas binarios fueron calculados mediante la siguiente ecuación:

$$x_i = \frac{w_i/PM_i}{\sum_i w_i/PM_i} \quad (3)$$

Por cada muestra y por cada fase, se realizaron 4 mediciones con un desvío estándar menor a 0.003 mol del componente volátil.

2.3. Curvas binodales del sistema ternario etil acetato + metanol/etanol+ glicerina

Las curvas binodales del sistema ternario etil acetato + metanol + glicerina fueron determinadas a 30, 40 y 50 °C y presión atmosférica mediante un análisis turbidimétrico utilizando el método de titulación a temperatura constante, continuando con el procedimiento de Zhou y col.^[9]. El componente titulado fue agregado en la mezcla mediante una jeringa previamente pesada en la balanza analítica.

Una celda similar a la mostrada en la Figura 1 pero sin la toma muestra inferior fue utilizada para la determinación de las curvas binodales en los sistemas de estudio: etil acetato + metanol + glicerina y etil acetato + etanol + glicerina.

El procedimiento de medición incluyó los siguientes pasos:

- i) Partiendo de mezclas conocidas de glicerina + metanol que se encontraban bajo agitación magnética, se tituló con etil acetato mediante una jeringa. El punto de saturación es aquel en el que la mezcla deja de ser transparente y pasa a ser turbia. Conociendo el peso agregado de etil acetato y los pesos iniciales de glicerina y metanol, se pudo determinar la fracción molar de cada componente en la mezcla. El procedimiento se repitió para varias composiciones iniciales de glicerina + metanol, determinando la curva de saturación correspondiente a la fase rica en glicerina.
- ii) Partiendo de mezclas conocidas de etil acetato + metanol que se encontraban bajo agitación magnética, se tituló con glicerina desde una jeringa, siguiendo el mismo procedimiento indicado en el inciso anterior. Se obtuvo así, la solubilidad de la glicerina en soluciones de etil acetato + metanol, correspondientes a las composiciones de equilibrio de la fase rica en etil acetato.
- iii) Para chequear los datos cercanos al punto de encuentro entre las dos ramas de la curva binodal, se tituló con metanol mezclas conocidas de etil acetato + glicerina de una dada composición molar, observando en este caso el punto en el que la mezcla deja de ser turbia y se clarifica.

Como se mencionó previamente, conociendo el peso del compuesto titulado y las composiciones iniciales de la mezcla (m_i), las correspondientes fracciones másicas w_i de los tres componentes fueron calculadas de acuerdo a la ecuación:

$$w_i = \frac{m_i}{\sum_i m_i} \quad (4)$$

A partir de w_i y el peso molecular de cada componente (PM_i), las fracciones molares x_i de etil acetato, metanol y glicerina fueron calculados mediante la ecuación 3.

El mismo procedimiento fue aplicado para la determinación de las curvas binodales del sistema ternario etil acetato + etanol + glicerina a 30, 40 y 50 °C.

3. Resultados experimentales

La Figura 2 muestra las solubilidades mutuas obtenidas para el sistema binario glicerina + pentano/hexano/heptano/etil acetato. A partir de esta figura se observa que las mismas son muy pequeñas; lo que significa una muy poca solubilidad entre los componentes. De todos los componentes estudiados en este trabajo, el etil acetato es el más soluble mientras que el heptano es el menos soluble en la glicerina y viceversa.

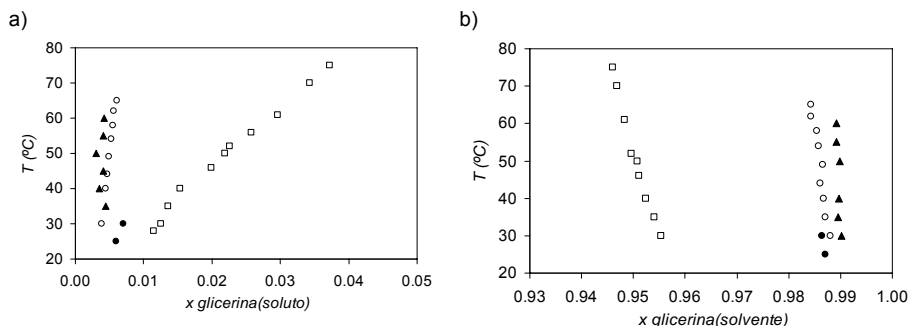
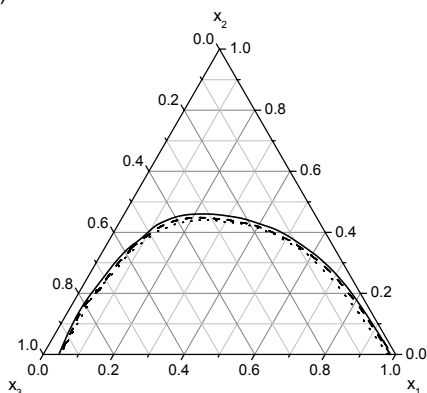


Figura 2. Solubilidades mutuas del sistema binario: glicerina + pentano(●)/hexano(○)/heptano (▲)/etil acetato(□): (a) glicerina como soluto, (b) glicerina como solvente.

La Figura 3 muestra las correspondientes curvas binodales de los sistemas en estudio. Etil acetato/alcohol y glicerina/alcohol son totalmente solubles, mientras que etil acetato/glicerol lo son parcialmente. A partir de estos resultados, además, se puede visualizar que si bien la temperatura tiene poco efecto en el tamaño de la región de inmiscibilidad en el rango de temperaturas estudiadas, la solubilidad aumenta con el aumento de la temperatura. La solubilidad es mayor en el sistema conteniendo etanol. Como es discutido por Follegatti y col.^[10] el etil acetato es un compuesto poco polar y consecuentemente el etanol (menos polar) es más soluble en la fase acetato que el metanol.

a)



b)

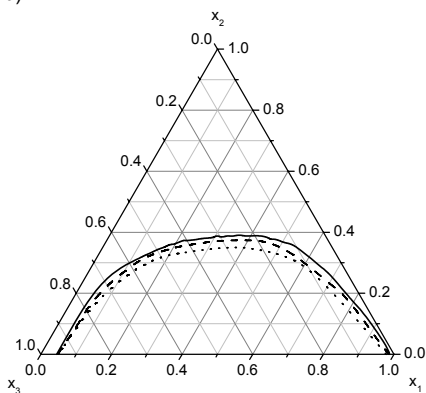


Figura 3. Curva binodal del sistema etil acetato (1) + metanol (a) /etanol (b) + glicerina (3) a 30 (línea entera), 40°C (línea discontinua) y 50 °C (línea punteada).

4. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos se puede predecir la factibilidad del uso de la glicerina en la separación de mezclas azeotrópicas de etil acetato-metanol y etil acetato-etanol, mediante extracción líquido – líquido. El procedimiento y la técnica de mediciones empleados resultaron satisfactorios para lograr el objetivo planteado. A su vez, se reportaron datos no publicados de solubilidades mutuas de alcanos y acetatos con glicerina necesarios a la hora de parametrizar modelos termodinámicos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CONICET, Universidad Tecnológica Nacional y a la Universidad Nacional de Córdoba por la ayuda económica recibida.

Referencias

- [1] Oliveira, M.B.; Teles, A.R.R.; Queimada, A.J.; Coutinho, J.A.P. Phase Equilibria of Glycerol Containing Systems and Their Description with the Cubic-Plus-Association (CPA) Equation of State. *Fluid Phase Equilibria*. **2009**, 280, 22-29.
- [2] Morrison, L.R., *Glycerol*, in *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. 2000, John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Gros, H.P.; Bottini, S.; Brignole, E.A. A Group Contribution Equation of State for Associating Mixtures. *Fluid Phase Equilibria*. **1996**, 116, 537-544.
- [4] Fredenslund, A.; Jones, R.L.; Prausnitz, J.M. Group-Contribution Estimation of Activity Coefficients in Nonideal Liquid Mixtures. *AIChE J*. **1975**, 21, 1086-1099.
- [5] Katayama, H.; Hayakawa, T.; Kobayashi, T. Liquid-liquid equilibria of three ternary systems: 2-propanone-glycerol-methanol, 2-butanone-glycerol-ethanol, and 2-butanone-glycerol-2-propanol in the range of 283.15 to 303.15 K. *Fluid Phase Equilibria*. **1998**, 144, 157-167.
- [6] Matsuda, H.; Fujita, M.; Ochi, K. Measurement and Correlation of Mutual Solubilities for High-Viscosity Binary Systems: Aniline + Methylcyclohexane, Phenol + Heptane, Phenol + Octane, and Glycerol + 1-Pentanol. *J. Chem. Eng. Data*. **2003**, 48, 1076-1080.

- [7] Cháfer, A.; de la Torre, J.; Monton, J.B.; Lladosa, E. Liquid–liquid equilibria of the systems isobutyl acetate+isobutyl alcohol+water and isobutyl acetate+isobutyl alcohol+glycerol at different temperatures. *Fluid Phase Equilibria*. **2008**, 265, 122-128.
- [8] Peschke, N.; Sandler, S.I. Liquid-Liquid Equilibria of Fuel Oxygenate + Water + Hydrocarbon Mixtures. 1. *J. Chem. Eng. Data*. **1995**, 40, 315-320.
- [9] Zhou, H.; Lu, H.; Liang, B. Solubility of Multicomponent Systems in the Biodiesel Production by Transesterification of *Jatropha Curcas* L. Oil with Methanol. *J. Chem. Eng. Data*. **2006**, 51, 1130-1135.
- [10] Follegatti-Romero, L.A.; Oliveira, M.B.; Batista, F.R.M.; Batista, E.A.C.; Coutinho, J.A.P.; Meirelles, A.J.A. Liquid–Liquid Equilibria for Ternary Systems Containing Ethyl Esters, Ethanol and Glycerol at 323.15 and 353.15K. *Fuel*. **2012**, 94, 386-394.

DESARROLLO DE UNA INTERFAZ COMPUTACIONAL “ABAQUS-MATLAB” Y SU APLICACIÓN EN PROBLEMAS DE OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL.

D. Decicco, A. Romero y A. Valdéz.

Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba.

Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina. Ciudad Universitaria. C.P.A. X5016ZAA.

Córdoba Capital. Córdoba. Argentina.

deciccodario@hotmail.com, daleakd@hotmail.com, andres10valdez@hotmail.com

Tutor: Dr. Ing. S.M. Giusti

Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba. CONICET

Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina. Ciudad Universitaria. C.P.A. X5016ZAA.

Córdoba Capital. Córdoba. Argentina. sgiusti@civil.frc.utn.edu.ar

Introducción

Todo problema de ingeniería demanda plazos y recursos económicos y humanos; los cuales son naturalmente limitados y escasos. Ante esta situación, los ingenieros se encuentran en la necesidad de resolver estos problemas utilizando los recursos de la manera más eficaz posible, por lo que se hace imprescindible contar con herramientas cada vez más eficientes. En este sentido, las actuales herramientas de cálculo estructural poseen limitaciones siendo necesario utilizar más de una en un mismo proyecto.

Abaqus [1] es un programa basado en el Método de los Elementos Finitos [2] muy utilizado en el medio profesional, con la capacidad de resolver una gran cantidad de problemas de ingeniería con las más variadas condiciones de contorno, tipos de materiales y configuración de elementos finitos. Como desventaja se puede citar que no cuenta con un módulo de optimización estructural definido. Por otro lado, el software de cálculo MatLab cuenta con un paquete de elementos finitos diseñado especialmente para elementos lineales triangulares, lo que lo hace muy efectivo en tiempo y capacidad de cálculo. Así mismo es también su mayor desventaja ya que solo podemos utilizar este tipo de elemento para resolver los problemas pre-establecidos en su programación. Dado que el módulo de elementos finitos de Matlab no tiene la capacidad de resolver elementos de geometría arbitraria, ya que solo dispone de elementos denominados “triángulos de deformación constante”; la interfaz desarrollada le permite comunicarse con Abaqus, para resolver problemas utilizando la vasta librería de elementos finitos, conjuntamente con los resolvedores y post-procesadores para cada tipo de elemento.

En respuesta a la necesidad constante de un mejor uso de los recursos disponibles, en este trabajo se presenta el desarrollo de una interfaz computacional entre estos dos programas comerciales, para aprovechar las ventajas individuales de cada uno a los fines de crear una herramienta de solución a problemas de ingeniería que no pueden ser resueltos al utilizarlos por separado. Esta interfaz es aplicada en un algoritmo de optimización de topología estructural basado en conceptos de derivada topológica.

Desarrollo.

Para el diseño del problema y la resolución del mismo, Abaqus genera archivos de datos que contienen toda la información del modelo. Estos archivos se clasifican en dos grandes grupos: (i) archivos de entrada (*.inp) y (ii) archivos de salida (*.odb, *.rpt). El primer grupo define las características del modelo a simular, como ser: elementos, materiales, condiciones de contorno y problema. El segundo grupo contiene toda la información obtenida de la simulación (resultados). La comunicación entre los programas se lleva a cabo mediante la manipulación, desde MatLab, de dichos registros. Se crearon, entonces, funciones que permiten la importación, el análisis y la exportación de los registros de datos.

La interfaz es, en concreto, un conjunto de funciones, programadas en MatLab, que permite el acceso a estos registros con la descripción del problema físico, la ejecución del mismo,

la exploración de la base de datos de salida (problema resuelto), y la reescritura del archivo de entrada correspondiente, con la actualización.

El acceso a la base de datos originada por Abaqus (durante la etapa de ejecución) se establece a través de comandos Python [1], extrayendo la información necesaria como el nombre de paso, los valores de tensión en los elementos, el nombre de instancia y el volumen de cada elemento. Además se crearon macros con el objetivo de generar reportes que proporcionen el valor de energía potencial total y las tensiones nodalizadas.

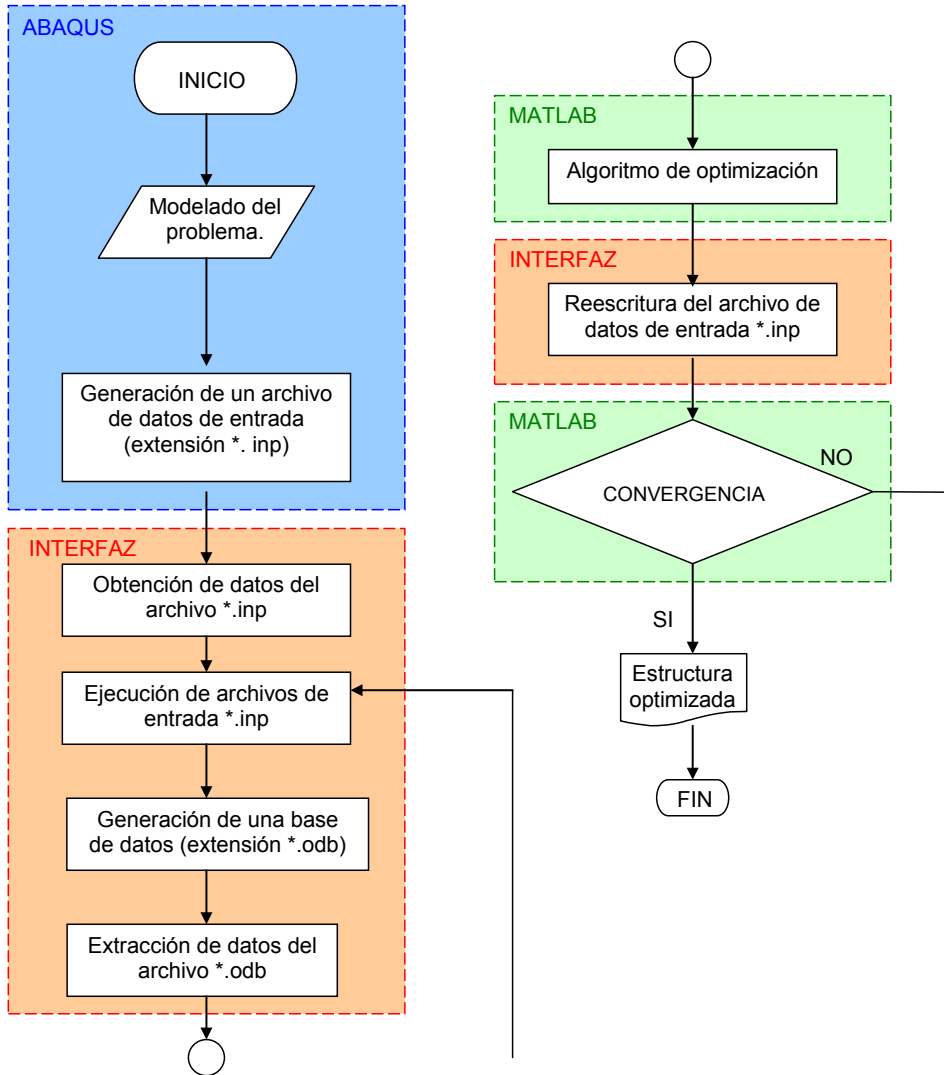


Figura 1. Diagrama de Flujo.

La malla de los elementos finitos está caracterizada por el uso de elementos triangulares lineales de tensión plana (3 nodos), identificado por Abaqus con el código: "CPS3". La malla construida posee 1834 elementos con 976 nodos. El mallado del dominio se muestra en la figura siguiente.

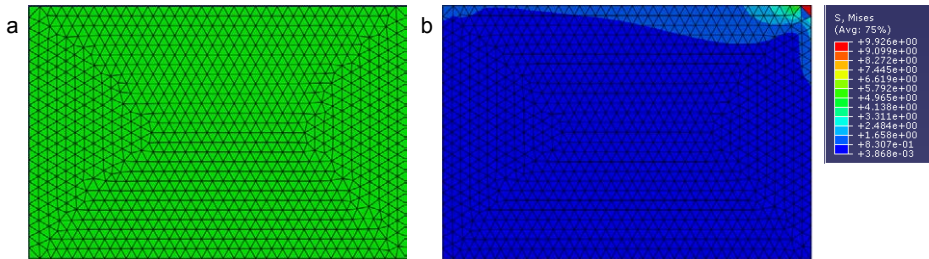


Figura 3. (a) Discretización del dominio (mallado). (b) Tensiones de von Mises.

Al aplicar el algoritmo de optimización, la estructura cuenta con dos grupos de elementos, cada uno de ellos con diferente material, eficientemente distribuidos. El material más débil (que se interpretará como un vacío) utilizado durante la secuencia de optimización posee un módulo de Young mil veces menor que el original y el mismo coeficiente de Poisson.

El resultado final que nos entrega el optimizador acoplado al software comercial, está reflejado en las siguientes imágenes, donde se distinguen gráficamente los dos grupos de elementos, siendo el gris oscuro el conjunto con material y el blanco el conjunto vacío. En el primer caso llegamos a tener un 65% del volumen inicial.

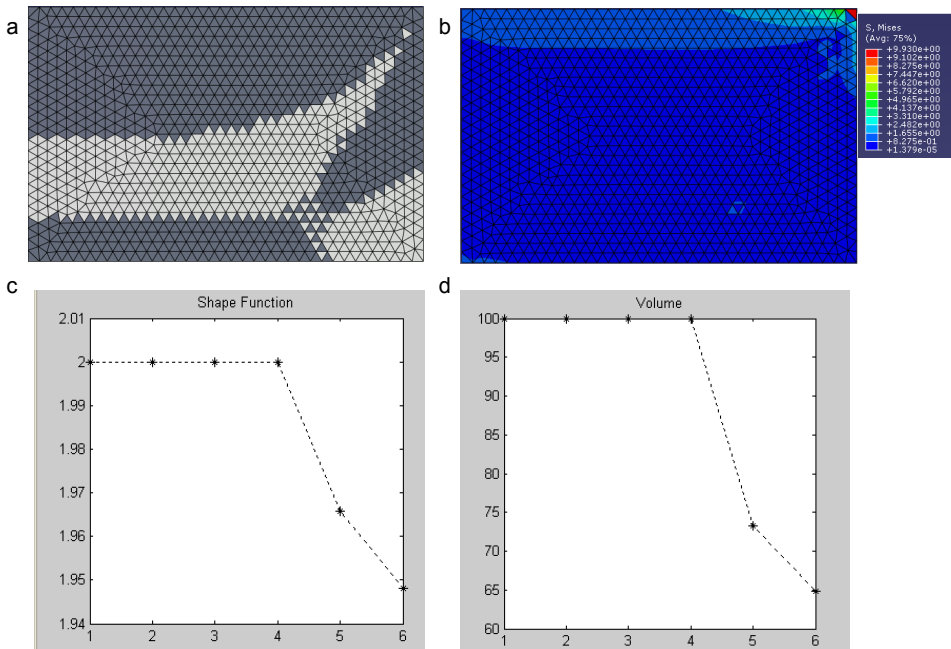


Figura 4. (a) Distribución optimizada de material. (b) Tensiones de von Mises. (c) Evolución de la función objetivo. (d) volumen de material duro vs. iteraciones.

En un segundo caso, obtenemos un volumen final de 24%. Los resultados son mostrados en la figura 5.

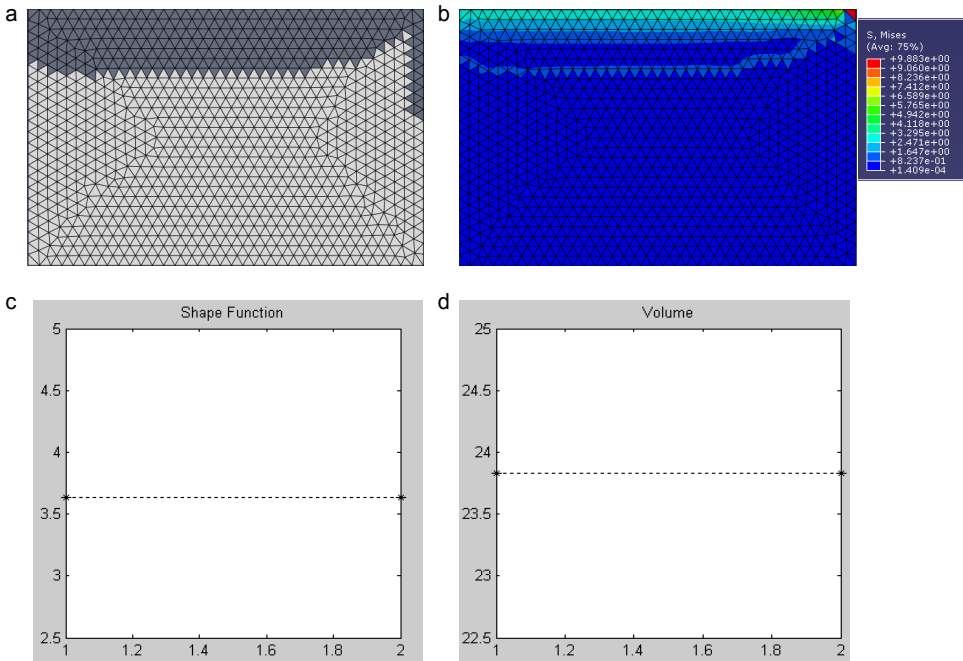


Figura 5. (a) Distribución optimizada de material. (b) Tensiones de von Mises. (c) Evolución de la función objetivo. (d) volumen de material duro vs. iteraciones.

Las figuras 4(c) y 5(c) muestran el comportamiento de la función de forma y la disminución de volumen en el transcurso de las iteraciones.

Conclusión.

Mediante el desarrollo e implementación de la interfaz de enl ace, se ha l ogrado la conjunción de las capacidades individuales de cada uno de estos programas comerciales, de amplia difusión en la resolución de problemas de ingeniería de nuestro medio.

Disponemos de una her ramienta de di seño e eficiente, amigable al usuario y capaz de racionalizar los recursos; a la cual sólo debemos ingresarle la información del modelo a optimizar, a través del archivo de datos de ent rada (*.inp), sin necesidad de c onocer los fundamentos matemáticos del optimizador, o la programación por línea de comandos.

En particular, en el ejemplo mostrado observamos que habiendo reducido, en primera instancia un 35% el volumen y en segunda, un 75%; las tensiones medias y máximas se han conservado en un r ango de variación del 1%. Esto indica que la estructura se ha saturado de tensiones, administrando de mejor modo todo el material disponible. Vemos que la estructura, inicialmente de geometría plana, luego de ser optimizada, se asemeja a un elemento unidimensional (barra). Finalmente, se destaca que el costo computacional de la interfaz y el algoritmo de optimización es bajo ya que se ha logrado convergencia a la topología óptima en reducidas iteraciones.

Actualmente la interfaz de enlace resuelve problemas bidimensionales de elasticidad lineal isotrópica, estando en etapa de desarrollo su extensión para problemas tridimensionales, y otros problemas del continuo a los cuales se pueda establecer un modelo discreto mediante el Método de los Elementos Finitos.

Bibliografía.

- [1] Abaqus documentation. Abaqus 6.8 Student Edition.
- [2] Hughes T.J.R. The finite element method. Linear static and dynamic finite element analysis. New Jersey: Prentice-Hall. 1987.
- [3] S. Amstutz & H. André. A new algorithm for topology optimization using a level-set method. *Journal of Computational Physics*, 216(2): 573-588, 2006.
- [4] S. Amstutz, S. M. Giusti, A. A. Novotny, E. A. de Souza Neto. Topological derivative for multi-scale linear elasticity models applied to the synthesis of microstructures. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 84(6): 733-756, 2010.
- [5] A.A. Novotny, R.A. Feijóo, C. Padra & E. Taroco. Topological sensitivity analysis. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 192:803-829, 2003.
- [6] J. Sokolowski & A. Zochowski. On topological derivative in shape optimization. *SIAM Journal on Control and Optimization*, 37:1251-1272, 1999.

IMPLEMENTACIÓN DE UN ELEMENTO FINITO CON ROTACION NODAL LIBRE

D. Decicco, A. Romero y A. Valdéz.

*Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba.
Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina. Ciudad Universitaria. C.P.A. X5016ZAA.
Córdoba Capital. Córdoba. Argentina.*

deciccodario@hotmail.com, daleakd@hotmail.com, andres10valdez@hotmail.com

Tutor: Dr. Ing. S.M. Giusti

*Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba. CONICET
Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina. Ciudad Universitaria. C.P.A. X5016ZAA.
Córdoba Capital. Córdoba. Argentina. sqgiusti@civil.frc.utn.edu.ar*

Introducción.

Los elementos finitos de elasticidad bidimensional utilizados habitualmente para simular problemas planos o de membranas, no tienen como grado de libertad la rotación de sus nodos; sino que esta rotación es calculada a partir de los desplazamientos relativos entre los mismos. Esto implica que la rotación de los nodos se encuentra penalizada y es constante dentro del elemento, es decir, es una consecuencia de los desplazamientos nodales relativos y no un grado de libertad.

La descripción de un determinado fenómeno físico, dentro de lo que se considera mecánica del continuo, se realiza mediante diferentes tipos de modelos matemáticos. Los modelos matemáticos usuales en sistemas elásticos lineales consideran las rotaciones de los nodos como funciones directas de las rotaciones que puede realizar el baricentro del elemento.

Este modelo matemático y el utilizado usualmente representan o describen la solución al mismo problema, la única diferencia es la mejora en la representación de la solución del elemento finito. Con el fin de dar respuesta a esta situación, se presenta la implementación computacional, dentro del paquete de elementos finitos de MatLab, de un elemento de elasticidad bidimensional con la rotación de sus nodos como un grado de libertad independiente, y su aplicación en la resolución de problemas de optimización topológica.

El propósito logrado es el de poder describir de un modo más eficiente, la deformación que sufre un sólido elástico plano solicitado a un estado de carga con una determinada característica geométrica, incorporando como grado de libertad la rotación de cada punto del dominio. Esto conlleva a un mejor entendimiento de los fenómenos físicos que gobiernan los problemas de ingeniería.

Como una consecuencia del objetivo antes descrito, se demuestra los beneficios que presenta la mejor descripción del problema si se estuviera implementando un elemento finito que considera la rotación como un grado de libertad.

Desarrollo.

El elemento a implementar fue desarrollado a mediados de la década de 1980, por el profesor D. J. Allman, agregándole al campo de desplazamiento usual la rotación de los nodos como grado de libertad. Si se desea profundizar el marco teórico, en general, puede consultarse en [1, 2, 3].

El elemento triangular desarrollado, utilizado para resolver casos de elasticidad plana, con rotación libre en los nodos, presenta las siguientes variables:

$$u_i = u(x, y) \quad v_i = v(x, y) \quad \omega_i = \omega(x, y),$$

donde u_i y v_i son las componentes cartesianas del desplazamiento y ω_i son los valores de la rotación del vértice.

En la figura 1(a), podemos observar un esquema del elemento triangular con los desplazamientos en el nodo i y la rotación libre del mismo como un grado de libertad. Pudiendo hacer extensivo este concepto a cada nodo del elemento. Efectuamos un apropiado cambio de base que nos facilitará el cálculo de los desplazamientos; la figura 1(b), muestra el mismo elemento pero en coordenadas triangulares.

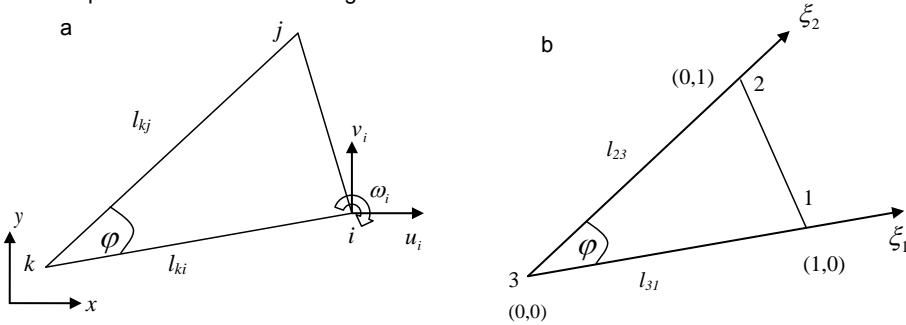


Figura 1. (a) Representación del elemento. (b) Sistema de coordenadas triangulares.

Podemos visualizar la contribución propia de la rotación, incluida como grado de libertad de los nodos, en las componentes de nuestro campo de desplazamientos. Si observamos los primeros tres términos de cada componente estamos frente a la formulación clásica de desplazamiento del método de elementos finitos, aplicada a un elemento triangular de deformación constante. En base a las publicaciones realizadas por Allman tenemos que la solución aproximada es escrita en términos de las funciones de forma clásicas como:

$$u = u_1 \xi_1 + u_2 \xi_2 + u_3 \xi_3 + \frac{1}{2} l_{12} \cos \gamma_{12} (\omega_2 - \omega_1) \xi_1 \xi_2 + \frac{1}{2} l_{23} \cos \gamma_{23} (\omega_3 - \omega_2) \xi_2 \xi_3 + \frac{1}{2} l_{13} \cos \gamma_{13} (\omega_1 - \omega_3) \xi_1 \xi_3$$

$$v = v_1 \xi_1 + v_2 \xi_2 + v_3 \xi_3 + \frac{1}{2} l_{12} \sin \gamma_{12} (\omega_2 - \omega_1) \xi_1 \xi_2 + \frac{1}{2} l_{23} \sin \gamma_{23} (\omega_3 - \omega_2) \xi_2 \xi_3 + \frac{1}{2} l_{13} \sin \gamma_{13} (\omega_1 - \omega_3) \xi_1 \xi_3$$

Evaluando las componentes normal y tangencial del desplazamiento (u_n, u_t) a lo largo de un lado del elemento de longitud l_{12} , de la forma;

$$u_n = a_1 + a_2 s + a_3 s^2 \quad u_t = a_4 + a_5 s,$$

donde la coordenada s es medida desde el final de un lado y los coeficientes a_1, \dots, a_5 son evaluados en términos de los conectores en los dos nodos extremos. Las funciones solución propuestas por Allman cumplen con las condiciones de compatibilidad de desplazamientos y rotaciones nodales, a saber:

$$u_n \Big|_{s=0} = u_{n1}; \quad u_n \Big|_{s=l_{12}} = u_{n2};$$

$$u_t \Big|_{s=0} = u_{t1}; \quad u_t \Big|_{s=l_{12}} = u_{t2}.$$

Calculados en función de los desplazamientos u y v mediante las siguientes expresiones:

$$u_n = u \cos \gamma + v \sin \gamma, \quad u_t = -u \sin \gamma + v \cos \gamma,$$

donde γ es el ángulo entre la normal al entorno y el eje de las x . La quinta condición de compatibilidad se observa en la siguiente expresión, en la cual ω_1 y ω_2 son las rotaciones de los vértices 1 y 2.

$$\frac{\partial u_n}{\partial s} \Big|_{s=l_{12}} - \frac{\partial u_n}{\partial s} \Big|_{s=0} = \omega_1 - \omega_2$$

Para llevar el problema de coordenadas globales (x, y) a coordenadas triangulares ξ_1, ξ_2, ξ_3 , facilitando así el cálculo de la matriz elemental de rigidez; hacemos uso de la siguiente expresión:

$$\begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \end{pmatrix} = \frac{1}{2 \cdot A} \begin{pmatrix} X_2 Y_3 - X_3 Y_2 & Y_2 - Y_3 & X_3 - X_2 \\ X_3 Y_1 - X_1 Y_3 & Y_3 - Y_1 & X_1 - X_3 \\ X_1 Y_2 - X_2 Y_1 & Y_1 - Y_2 & X_2 - X_1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ x \\ y \end{pmatrix}$$

En la ecuación de cambio de base anterior [2], escribimos cada coordenada rectangular (x, y) en función de la geometría del elemento triangular donde $(X_i; Y_i)$ son las coordenadas cartesianas de ese elemento y el valor A es el área del mismo cuya magnitud esta dada por:

$$A = \frac{1}{2} \cdot \begin{vmatrix} 1 & X_1 & Y_1 \\ 1 & X_2 & Y_2 \\ 1 & X_3 & Y_3 \end{vmatrix}$$

Para calcular la matriz de rigidez de un elemento partimos de las expresiones de energía de deformación, de nuestro elemento, dada por la Teoría de la Elasticidad.

$$U = \frac{1}{2} \iint_A \sigma^T \cdot \varepsilon \cdot t \cdot dx dy,$$

donde $\sigma = D \cdot \varepsilon$ y $\varepsilon = B \cdot C \cdot u$.

En la integral anterior defino el valor del espesor del elemento a través de $t = t(x, y)$, para nuestros casos suponemos un espesor constante dentro del elemento. La presentación de la energía de deformación, en particular para el método de elementos finitos [1,2], está dada por:

$$U = \frac{1}{2} u^T \left[C^T \iint_A B^T \cdot D \cdot B \cdot t \cdot dx dy \cdot C \right] \cdot u$$

A partir de la ecuación anterior se definió a la expresión entre corchetes como la rigidez del elemento.

$$K_e = C^T \iint_A B^T \cdot D \cdot B \cdot t \cdot dx dy \cdot C$$

En donde las matrices B, D y C son respectivamente:

$$B = \begin{pmatrix} 1 & y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & x & 0 \\ 0 & -x & 0 & -y & 1 \end{pmatrix} \quad D = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{pmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{pmatrix}$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot A} \begin{pmatrix} y_{23} & 0 & \frac{1}{2} y_1 y_{23} & y_{31} & 0 & \frac{1}{2} y_2 y_{31} & y_{12} & 0 & \frac{1}{2} y_3 y_{12} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{2} y_{23} & 0 & 0 & -\frac{1}{2} y_{31} & 0 & 0 & -\frac{1}{2} y_{12} \\ 0 & x_{32} & \frac{1}{2} x_1 x_{23} & 0 & x_{13} & \frac{1}{2} x_2 x_{31} & 0 & x_{21} & \frac{1}{2} x_3 x_{12} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{2} x_{23} & 0 & 0 & -\frac{1}{2} x_{31} & 0 & 0 & -\frac{1}{2} x_{12} \\ x_{32} & y_{23} & \frac{1}{2} (x_1 y_{32} + y_1 x_{32}) & x_{13} & y_{31} & \frac{1}{2} (x_2 y_{13} + y_2 x_{13}) & x_{21} & y_{12} & \frac{1}{2} (x_3 y_{21} + y_3 x_{21}) \end{pmatrix}$$

Por cuestiones de notación, hemos designado a $X_{ij} = X_i - X_j$. La matriz D es el arreglo propio de elasticidad lineal isotrópica.

Al realizar el producto $B^T \cdot D \cdot B$, con el correspondiente cambio de coordenadas, la integral nos queda en función de ξ_i , la cual es complicada de resolver. Utilizamos entonces la siguiente propiedad para solucionar dicha dificultad

$$\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 = 1; \quad \frac{1}{A} \cdot \iint_A \xi^m \cdot \xi^n \cdot \xi^p dx dy = \frac{2m!n!p!}{(m+n+p+2)!}$$

La implementación del elemento finito propuesto por Allman, consistió en el ensamblaje de la matriz de rigidez propuesta y su inclusión en la función "assem.m" del paquete de Elementos Finitos de MatLab (pdeTool). Esta función es la encargada de acoplar las matrices de rigidez y vectores de carga locales de los elementos en su contraparte global.

Ejemplo de aplicación.

Se presenta a continuación un ejemplo de elasticidad lineal isotrópica, acoplado el problema a un optimizador para distribuir del modo más eficiente el material, con restricciones geométricas.

El dominio de análisis consta de un plano de 1m x 1m y de espesor unitario, empotrado en su arista izquierda y libre en las demás, con una carga puntual de 10 N aplicada en el vértice superior derecho en dirección vertical. El material está caracterizado por un módulo de Young de 210 GPa y un coeficiente de Poisson de 0,3.

El algoritmo de optimización está basado en la representación geométrica del dominio a través de curvas de level-set. La dirección de descenso de la función a optimizar está guiada por la derivada topológica [6,7]. Una descripción detallada del algoritmo y su fundamentación matemática puede encontrarse en [4,5]. La ventaja de esta clase de algoritmo es un bajo costo computacional, ya que trabaja con una malla de elementos finitos fija y la función de level-set distribuye el material entre los elementos. Evitando el costo de crear una nueva malla de elementos finitos a cada cambio de topología durante el proceso de optimización.

La malla construida posee 800 elementos con 441 nodos. El mallado del dominio se muestra en la figura 2(b).

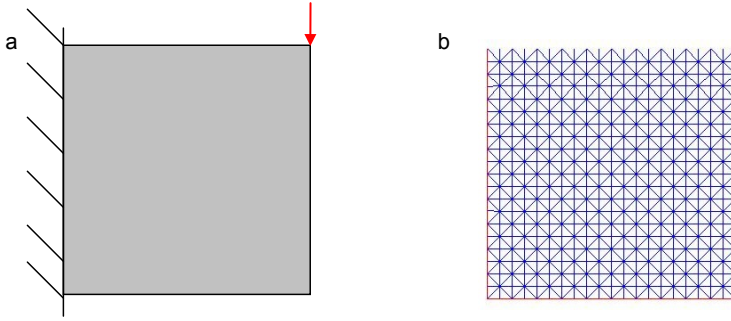


Figura2. (a)Modelización del problema. (b)Mallado inicial.

El estado tensional propio de este ejemplo, en su primera instancia, es el que está a continuación.

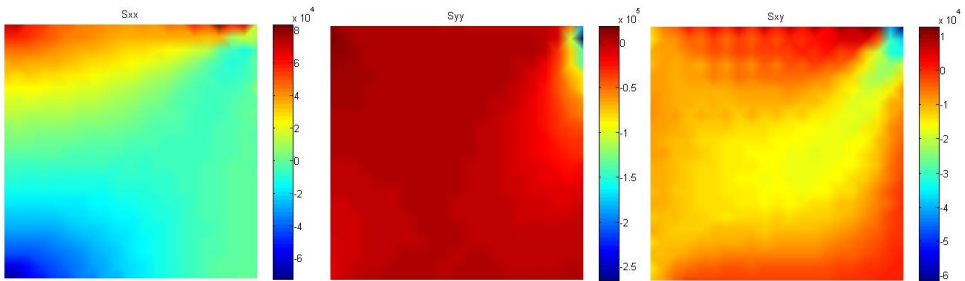


Figura 3. Estado tensional. S_{ik} Son las componentes del tensor de tensiones.

Al aplicar el algoritmo de optimización, la estructura cuenta con dos grupos de elementos, cada uno de ellos con diferente material, eficientemente distribuidos. El material más débil (que se interpretará como un vacío) utilizado durante la secuencia de optimización posee un módulo de Young mil veces menor que el original y el mismo coeficiente de Poisson.

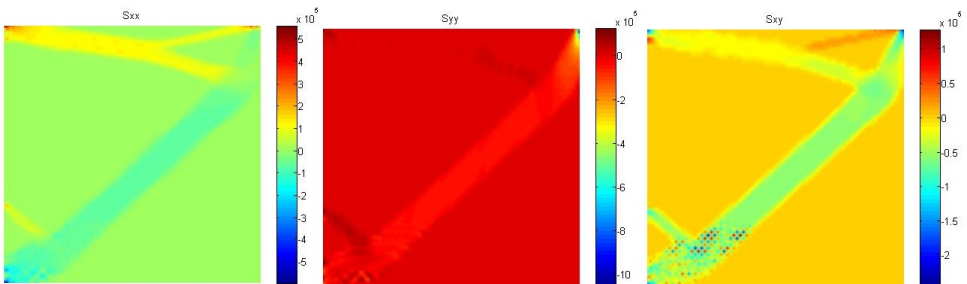


Figura 4. Estado tensional final.

Habiendo ejecutado el algoritmo de optimización, con la nueva matriz de rigidez, propia de nuestra consideración, lo que obtenemos a la iteración número treinta y uno es una reducción del volumen final a un 24, 4%, con lo cual hemos redistribuido racionalmente el material que antes

ocupaba un 100%. El resultado final que nos entrega el optimizador, está reflejado en la figura 5(b), donde el negro es el conjunto con material y el blanco el conjunto vacío.

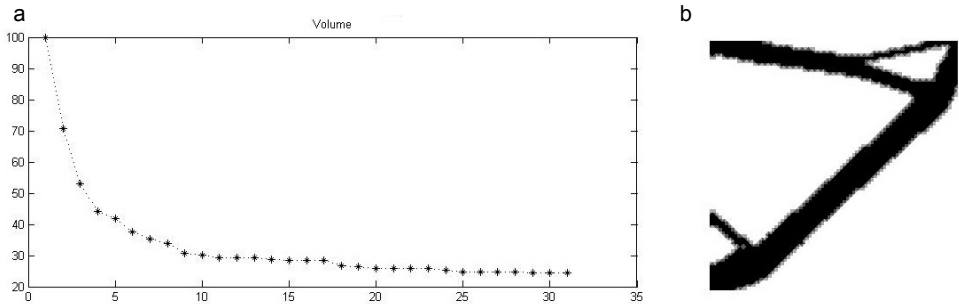


Figura 5. (a)Variación del volumen. (b)Geometría optimizada del cubo.

Conclusión.

Presentada la ecuación de la matriz de rigidez del elemento, con sus definiciones y las propiedades a utilizar para su cálculo, se logró la implementación computacional del elemento con la rotación como nuevo grado de libertad. Así, luego de implementar este elemento triangular lo que hemos logrado es otorgarle a Matlab otra clase de aproximación a la solución de la ecuación de elasticidad.

En particular para el ejemplo desarrollado podemos ver que las tres componentes del tensor de tensiones se han uniformizado, comparadas con las iniciales. Con ello, se logra una reducción aproximada del 76% del volumen inicial. Esta solución representa la estructura más rígida posible bajo el sistema de carga establecido y la restricción de volumen impuesta.

Bibliografía.

- [1] Hughes T.J.R. The finite element method. Linear static and dynamic finite element analysis. New Jersey: Prentice-Hall. 1987.
- [2] D. J. Allman. A compatible triangular element including vertex rotations for plane elasticity analysis, *Computer & Structures*, 19:1-2,1984.
- [3] D. J. Allman. Evaluation of the constant strain triangle with drilling rotations. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*,26:2645-2655, 1988.
- [4] S. Amstutz & H. André. A new algorithm for topology optimization using a level-set method. *Journal of Computational Physics*, 216(2): 573-588, 2006.
- [5] S. Amstutz, S. M. Giusti, A. A. Novotny, E. A. de Souza Neto. Topological derivative for multi-scale linear elasticity models applied to the synthesis of microstructures. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 84(6): 733-756, 2010.
- [6] A.A. Novotny, R.A. Feijóo, C. Padra & E. Taroco. Topological sensitivity analysis. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 192:803-829, 2003.
- [7] J. Sokolowski & A. Zochowski. On topological derivative in shape optimization. *SIAM Journal on Control and Optimization*, 37:1251-1272, 1999.

RENDIMIENTOS DE BIOETANOL EN FERMENTACIONES REALIZADAS CON MOSTOS DE ALTA CONCENTRACION DE SOLIDOS

Romina A. Beltrán, Nadia Z. Comba

Tutor: Luis A. Toselli.

Grupo de Investigación en Simulación para Ingeniería Química -GISIQ - F. R. Villa María de la UTN Av. Universidad 450, X5900HLR, Villa María, Córdoba, Argentina.
romibeltran@yahoo.com.ar

Resumen

En el presente trabajo se desarrollaron experiencias de laboratorio a efectos producir bioetanol a partir de almidón de maíz mediante el desarrollo completo de la secuencia de operación que se corresponde con la tecnología de licuefacción con sacarificación y fermentación simultáneas (SSF). Se propone como objetivos evaluar la eficiencia y el rendimiento en la producción de etanol utilizando mostos de alta concentración de sólidos (contenido en materia seca superior al 25%).

Para realizar los ensayos se utilizaron enzimas de uso industrial de última generación producidas por la empresa Danisco (Div. Genencor, alfa y glucoamilasa marca Spezyme AlphaTM y DistillaseTM SSF), levaduras Ethanol RedTM de la empresa Fermentis (Division of S.I.Lessaffre) y antibacterianos tanto natural (IsoStabTM) elaborado por la empresa BetaTec como también virginiamicina (LactrolTM) de Phibro Ethanol Performance Group a efectos de garantizar un control de contaminación de las bacterias Gran Positivas.

Se analizó cuantitativamente el rendimiento en bioetanol mediante un control indirecto tal como la evolución del descenso de peso de las muestras, por eliminación de dióxido de carbono y mediante análisis de variabilidad en °Brix, lo cual permitió un seguimiento del azúcar producido por hidrólisis y consumido durante la fermentación del mosto. Tales parámetros fueron evaluados frente a variaciones en la dosificación de enzimas y levadura y distintas granulometrías de molienda.

Se han alcanzado y evaluado distintos rendimiento de fermentación los cuales son analizados frente a las variaciones de los parámetros considerados y condiciones operativas. Se obtuvieron resultados que avalan la conveniencia de trabajar con concentraciones elevadas (del orden de 35% sólidos) y con granulometría fina para una mejor performance del proceso, evaluándose al mismo tiempo algunas dificultades que presenta el operar a tales concentraciones.

Introducción

El proceso de obtención de etanol comienza con la conversión enzimática de almidón a glucosa usando mezclas de enzimas que actúan en diferentes etapas de su hidrólisis. Para la licuefacción se utiliza α -amilasa, a fin de romper el almidón en dextrinas y reducir rápidamente la viscosidad del mosto. En la sacarificación se emplea glucoamilasas, transformando las dextrinas en azúcares fermentables, esta etapa ocurre de manera simultánea con la fermentación producida por las levaduras *Saccharomyces cerevisiae*, que finalmente convierte a estos azúcares en etanol. La bioconversión óptima de azúcar a alcohol exige una cepa de levadura capaz de tolerar altas concentraciones de etanol, porque este inhibe la multiplicación y los procesos de fermentación.

Para realizar los ensayos se utilizaron enzimas de uso industrial de última generación, cepas de levadura que toleren elevada concentración de alcohol y presión osmótica y antibacterianos disponibles en el mercado a efectos de garantizar un control de contaminación de las bacterias gran positivas. Altos números de estas conducen a la disminución del crecimiento y del metabolismo de las levaduras debido a la competencia por los nutrientes disponibles y la excreción de metabolitos tóxicos como el ácido láctico. La evolución de los parámetros durante la licuefacción, sacarificación y fermentación fueron monitoreados durante el proceso y finalmente el rendimiento en etanol y consumos específicos fueron calculados para estimar la eficacia del proceso.

Las experiencias que se han desarrollado, a escala laboratorio fueron realizadas aplicando protocolos de ensayos que responden a metodologías semejantes a las propuestas por la empresa Fermentis (Division of S.I.Lessaffre).

En la actualidad se está desarrollando las primeras experiencias en un bioreactor de escala piloto en donde se procederá a analizar el comportamiento para rangos de concentraciones semejantes, esto es de 25 a 35 % p/p de sólidos totales.

Materiales y Métodos

Los pasos previos necesarios para comenzar con las experiencias consisten en la determinación del contenido de almidón, según método oficial AOAC 920.44 y 906.03 (AOAC, 1998) y de humedad (método gravimétrico) del maíz a utilizar. Una vez obtenidos los mismos se procedió con la molienda que tiene como propósito romper el grano llevándolo a una granulometría adecuada para facilitar la penetración posterior del agua en el proceso de cocción. Las distintas granulometrías alcanzadas en comparación con la detallada en bibliografía específica se detallan en la tabla 1.

Tabla 1: Granulometría recomendada vs. obtenida en distintos tipos de molinos.

Mallas	(Kelsall y Lyons, 2003).	Granulometría 1 (fino)	Granulometría 2 (grueso)
12	3.00	14.76	31.95
16	8.00	30.78	25.61
20	36.00	17.80	14.03
30	20.00	8.70	6.96
40	14.00	8.73	7.91
60	12.00	6.25	7.54
Fondo	7.00	12.97	6.00

La preparación del mosto consiste en la mezcla de agua, maíz molido y una dosis de enzima (α -amilasa) que luego es cocida en un recipiente ligeramente presurizado alcanzando los parámetros de tiempo temperatura necesarios para producir la gelatinización del almidón, en donde los gránulos del mismo comienzan a absorber agua e hincharse perdiendo de esta manera su estructura cristalina. Una vez realizada la cocción se realiza un flasheo del mosto por un periodo corto de tiempo hasta ajustar el contenido de sólidos de acuerdo a necesidades de proceso (Kelsall y Lyons, 2003).

Los pasos siguientes consisten en el enfriamiento del mosto y agregado de la dosis restante de α -amilasa, procediéndose a medir la concentración alcanzada en Brix como condición de partida del proceso SSF. Luego se continuó enfriando y ajustando el pH de manera de poder agregar la glucoamilasa y la levadura previamente hidratada. En la tabla 2 se puede observar las especificaciones de las enzimas y levadura utilizadas (Power, 2003).

Tabla 2: Especificaciones de las enzimas y levaduras.

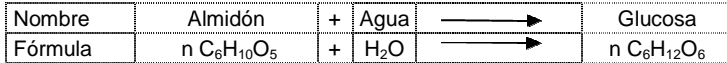
Tipo	Enzimas		Levadura
	α -amylase	Glucoamilasa	Saccharomyces cerevisiae
Marca	Genencor. A Danisco Division.		Fermentis
Tipo	Spezyme R Alpha	Distillase R SSF	Ethanol Red
Rango de pH	Entre 5 y 6	Entre 4 y 4.5	Entre 4 y 5
Rango de Temperatura	83 a 85 °C	28 a 35 °C	30 a 35 °C
Dosificación	0.020 a 0.024 % p/p	0.06 to 0.08 % p/p	de 0.25 a 0.5 g/L

Se registra el peso de los erlenmeyers vacíos, teniendo la precaución de secarlos bien, de forma tal de no registrar pesos que puedan interferir en las mediciones. Este constituye el punto cero. Una vez terminado el mosto se cargan con 250 y 300 g del mismo cerrando los recipientes con un

airlock con sello de aceite y se registra el peso final. El airlock permite así la salida de CO₂ generado en el proceso fermentativo.

Luego, se coloca los erlenmeyer en estufa a 32 °C en un agitador orbital por un tiempo aproximado de 96 hs, como se puede observar en la figura 1. Durante la incubación, se registra el peso de estos cada 24 horas verificándose que los mismos estén completamente secos. Este método de descenso de peso se basa en la pérdida de CO₂, que permite estimar indirectamente la cantidad de etanol generada, ya que ambos son productos de la fermentación. Las reacciones que se producen son las siguientes:

En la primera etapa se debe convertir el almidón a glucosa por medio de las enzimas nombradas anteriormente.



La segunda y última etapa consiste en que la levadura convierta la glucosa en etanol y dióxido de carbono.

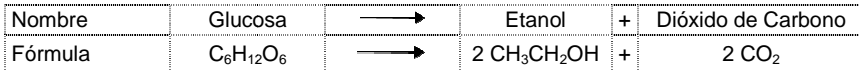


Figura 1: Sistema experimental utilizado para ensayos SSF.

Las bacterias en la fermentación alcohólica consumen glucosa que está disponible para producir subproductos indeseables como ácido láctico y ácido acético. Las más comunes en los medios de fermentación son las Gram Positivas. Estas infecciones son factor importante que afecta el rendimiento de alcohol, que a su vez tiene un impacto en la economía de la destilería. (Russell, 2003).

Tabla 3: Características de los antimicrobianos utilizados.

Producto	Estado de agregación	Dosificación
IsoStab	Líquido	Valores normales recomendados 30 ppm en los fermentadores. (Admite agregados parciales en propagadores).
Lactrol	Sólido (contenido en bolsas hidrosolubles biodegradables)	Dosis recomendadas es de 0.25 ppm a 2.0 ppm, dependiendo de la concentración de bacterias presentes.

Una vez preparado el mosto y agregada la levadura, se realizaron distintos ensayos con dosificación de dos tipos de antimicrobianos: IsoStab™ que es derivado natural del lúpulo (producido por la empresa BetaTec) y actúa reduciendo el pH en el interior de las bacterias, inhibiendo su capacidad para transferir glucosa a través de la pared celular. En esencia, las bacterias no pueden alimentarse, cesa su capacidad reproductiva y finalmente muere. El segundo producto en cuestión es Lactrol™, de PhibroEthanol Performance Group, que está compuesto de virginiamicina y dex-

trosa, su efecto está basado en la acción combinada de estas moléculas que inhiben la síntesis de proteínas en las bacterias provocando el cese de su capacidad de multiplicarse (bacteriostasis) y lisis posterior (ruptura y muerte celular). En la tabla 3 se detallan características de los antimicrobianos citados.

Resultados

En las experiencias realizadas se obtuvo que el molido más fino alcanza un mayor descenso de peso, alrededor de 30% en comparación con un promedio de 25 % de descenso alcanzado frente al molido grueso, esto se debe a que el almidón está más expuesto y las enzimas pueden degradarlo rápidamente, en la figura 2 se muestran estos resultados. Se debe considerar que un exceso de finos puede resultar contraproducente, generando problemas para la recuperación de los sub-productos. En la figura 3 se visualiza que el porcentaje de variación de pérdida de peso por día es mayor al inicio de la fermentación para el molido fino y la diferencia va disminuyendo a medida que avanza la fermentación.

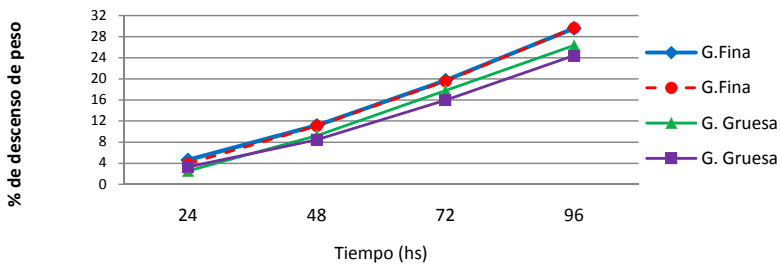


Figura 2: % de pérdida de peso en mostos con diferentes granulometrías.

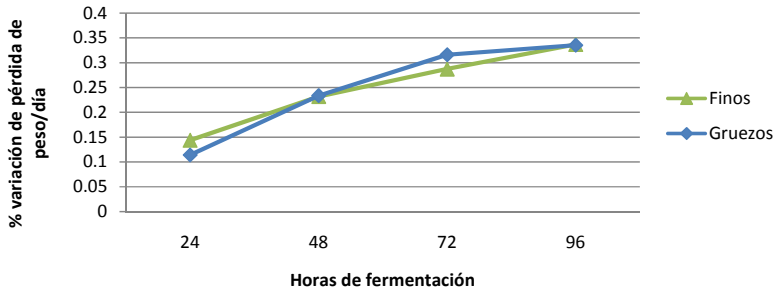


Figura 3: % de variación de pérdida de peso/día en mostos con distintas granulometrías.

Para concentraciones del 35 % se obtiene un mayor rendimiento de alcohol, con descensos de pesos de ~ 31%, frente a mostos menos concentrados. La figura 4 muestra la capacidad de las levaduras de trabajar en un medio, en donde aún cuando disponen de mayores cantidades totales de glucosa para el proceso fermentativo, deben responder a mayores condiciones de estrés, como es la mayor concentración de sólidos, velocidad de generación de dextrinas y azúcares fermentables, incrementos de la presión osmótica, entre otras. La figura 5 muestra la mayor variación de pérdida de peso para mostos concentrados hasta promediar la fermentación, luego de lo cual dicho comportamiento se atenúa.

Otros parámetros experimentales medidos: Brix del mosto inicial y final de la fermentación se muestran en la tabla 4. Actualmente se están realizando determinaciones en un equipo de arreglo de Diodos marca Perten 7200 para obtener valores de °Brix, DP4, DP3, Maltosa, Glucosa, ácido láctico, glicerol, ácido acético, entre otros, para un control más preciso de la SSF.

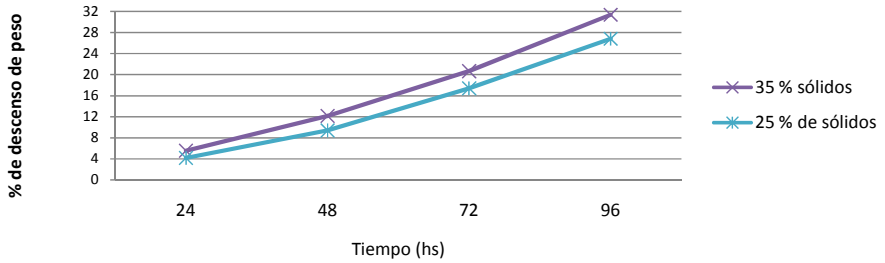


Figura 4: % de pérdida de peso de mostos con distinta concentración de sólidos.

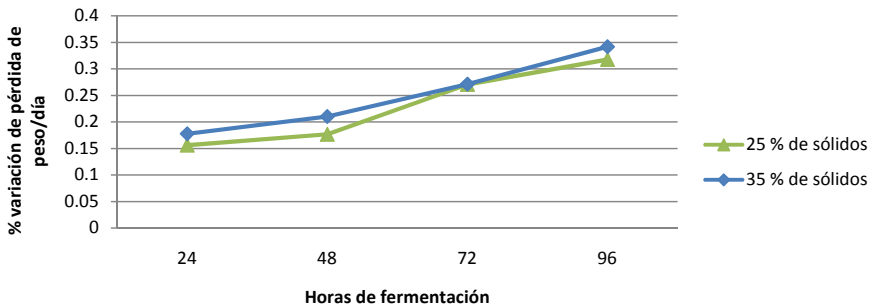


Figura 5: % de variación de pérdida de peso/día en mostos con distintas concentración de sólidos.

Tabla 4: Brix obtenidos en los distintos ensayos.

Tipo de ensayo	Finos	Gruesos	25 % de sólidos	35 % de sólidos
Brix Iniciales	15.5	16.7	15	13.6
Brix Finales	5.75	6.15	6.2	8.55

En la figura 6 se observan los resultados de aplicación de los antimicrobianos citados, verificándose que no existió una marcada diferencia en el comportamiento para las condiciones ensayadas, requiriendo entonces continuar con la evaluación de su comportamiento.

En la figura 7 se muestran resultados del proceso SSF para mostos tratados con doble dosis de enzimas y levaduras.

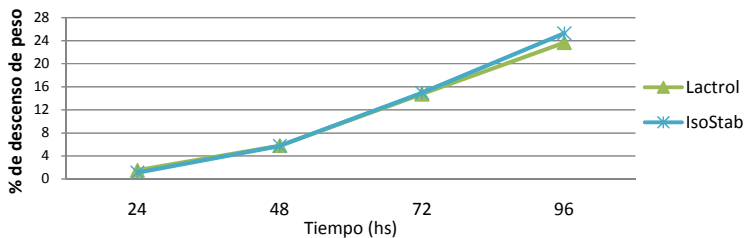


Figura 6: % de pérdida de peso utilizando distintos antibióticos en el mosto.

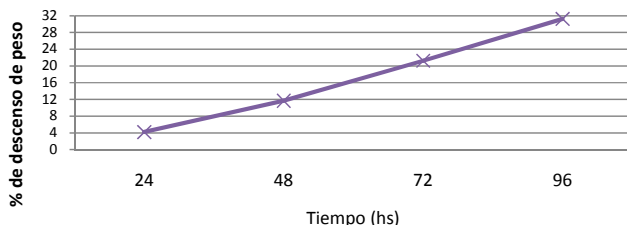


Figura 7: % de descenso de peso con mosto preparado con doble dosis de enzimas y levaduras.

Conclusiones

De lo expuesto se puede concluir que:

- i) La menor granulometría permitió alcanzar una mayor eficiencia fermentativa, aun cuando deberá considerarse sus efectos en la posterior separación de subproductos.
- ii) La concentración de sólidos del 35 %, como era de esperar arrojó un mayor rendimiento de etanol, aun cuando deberá evaluarse su factibilidad de aplicación en procesos existentes como consecuencia de eventuales obstrucción en equipos y tuberías.
- iii) Para las condiciones evaluadas no existieron mayores diferencias de efectividad entre ambos agentes antimicrobianos.
- iv) Como se esperaba, el incremento en las dosis de enzimas y levaduras mejoró el rendimiento del proceso y se está trabajando en la búsqueda de un óptimo dado que el consumo de estos insumos incide en el costo de producción.
- v) Para aumentar el rendimiento de etanol en una planta se deberá ajustar sus parámetros de proceso a la modalidad de trabajo más favorable en función de su equipamiento.
- vi) A partir de la experiencias desarrolladas se avanzará, a futuro en el estudio de otras propiedades de interés para las etapas de separación de etanol y subproductos.

Agradecimientos

A la SCyT de la FRVM de la UTN por el apoyo recibido para el desarrollo del presente trabajo y a la empresa Porta Hnos S.A. por sus aportes de insumos, equipamientos y disponibilidad de información técnica específica que permitieron la realización de los ensayos experimentales. Los cuales fueron recibidos en el contexto del convenio de vinculación tecnológica existente.

Referencias

1. Kelsall D.R. and Lyons T.P.. The Alcohol Textbooks. Chapter 2: Grain dry milling and cooking procedures: extracting sugars in preparation for fermentation pág.9-21.
2. Kelsall D.R. and Lyons T.P.. The Alcohol Textbooks.Chapter 10: Practical management of yeast: conversion of sugars to etanol pag. 121-133. Alltech Inc., Nicholasville, Kentucky, US.
3. Power R. F.. The Alcohol Textbooks. Chapter 3: Enzymatic conversion of starch to fermentable sugars pág. 22-32. North American Biosciences Center, Alltech Inc., Nicholasville, Kentucky, USA.
4. Russell I.. The Alcohol Textbooks. Chapter 9: Understanding yeast fundamentals Pág 85-119. International Centre for Brewing and Distilling, School of Life Sciences, Heriot-Watt University, Edinburgh, UK.
6. Oficial Methods Of Analysis Of AOAC International. 16 th Edition. 4th Revision. 1998.
7. Begea M., Báldea G., Cîmpeanu C., Stoicescu C., Begea P.; "Utilization of Last Generation Enzymes for Industrial Use in Order to Obtain Bioethanol From Locally Available Agricultural Renewable Resources". Romanian Agricultural Research, No.27, (2010) Print ISSN 1222-4227; Online ISSN 2067-5720.
8. Rückle L., Senn T., "Hop acids as natural antibacterials can efficiently replace antibiotics in ethanol production". BetaTec Hopfenprodukte GmbH, Freiligrathstr. 7-9, 90489 Nuremberg, Germany.

COMPARACIÓN DE TÉCNICAS ANALÍTICAS DE DETERMINACIÓN DE ALMIDÓN DE MAÍZ

Nadia Z. Comba, Romina A. Beltrán

Tutor: Dra. Mariana, Montenegro y Mg. Fernando, Bonaterra

Grupo de Investigación en Simulación para Ingeniería Química -GISIQ - F. R. Villa María de la UTN Av. Universidad 450, X5900HLR, Villa María, Córdoba, Argentina.

combanadia@gmail.com

Resumen

El almidón es el componente más importante en la producción de etanol a partir de granos, como el maíz, debido a que es el determinante del rendimiento del proceso. Por este motivo se investigaron técnicas de cuantificación de almidón, se ensayaron y se analizaron los resultados obtenidos. Se emplearon técnicas oficiales de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC), las cuales emplean hidrólisis ácida y cuantificación por gravimetría o titulación, como así también un método enzimático con cuantificación espectrofotométrica. Los resultados así obtenidos fueron comparados con los generados por el método de determinación de almidón por la técnica polarimétrica de Ewers modificada, norma IRAM15859, realizada por un laboratorio privado.

Del análisis de los resultados obtenidos en las actividades desarrolladas se concluye que el método que menor error presenta es el de polarimetría, para el cual se necesita equipamiento no disponible en todos los laboratorios. El método de hidrólisis ácida de la AOAC utiliza materiales y reactivos simples, dando resultados confiables, pero tiene como desventaja la prolongada duración del ensayo. La hidrólisis enzimática es más rápida, pero los reactivos son costosos y la repetibilidad de los resultados no está asegurada.

PALABRAS CLAVES: cuantificación de almidón, hidrólisis ácida, hidrólisis enzimática, técnica polarimétrica de Ewers modificada.

1. Introducción

1.1. Maíz

La producción de bioetanol ha tenido un crecimiento importante en los últimos años, siendo la principal materia prima el maíz, y presenta buenas proyecciones a futuro. Esto se debe a su disponibilidad, como así también al elevado rendimiento que presenta frente a otros cereales (K.A. Jacques, 2003).

El grano de maíz tiene 3 componentes principales almidón, proteína y aceite, los cuales están contenidos en tres estructuras: el germen (embrión), el endospermo y el pericarpio (figura 1). Los componentes principales se encuentran distribuidos en cada estructura en diferentes proporciones, las cuales se muestran en la tabla 1, como así también la composición del grano de maíz entero, siendo el componente más importante el almidón (Alvarez, 2006).

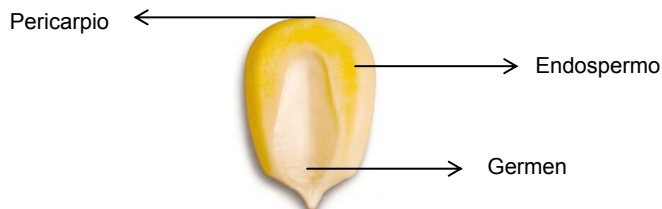


Figura 1: Partes del grano de maíz (Alvarez, 2006)

Tabla 1: Composición de grano de maíz dentado y de sus partes.

	% del grano entero en BS		Composición de las partes del grano en BS (%)		
			Almidón	Grasa	Proteína
Germen	Rango	10,5-13,1	5,1-10,0	31,1-38,9	17,3-20,2
	Promedio	11,5	8,3	34,4	18,5
Endospermo	Rango	80,30-83,5	89,9-88,9	0,7-1,1	6,7-11,1
	Promedio	82,3	86,6	0,86	8,6
Pericarpio	Rango	4,4-6,2	3,5-10,4	0,7-1,2	2,9-3,9
	Promedio	5,3	7,3	0,98	3,5
Grano Entero	Rango	-	67,8-74,0	3,98-5,8	8,1-11,8
	Promedio	100	72,4	4,7	9,6

FUENTE: (BeMiller & Whistler, 2009)

1.2. Almidón

El almidón, por sus características nutricionales y sus múltiples aplicaciones en la industria, es el carbohidrato más importante. Es un polisacárido vegetal que se encuentra presente principalmente en los granos de cereales, tubérculos, frutas y varias legumbres. Están formados por dos tipos de moléculas, amilosa y amilopectina, ambos son polímeros de unidades α D-glucosa (Alvarez, 2006).

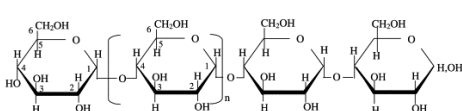


Figura 2: Estructura de amilosa (Tester R. F., 2004)

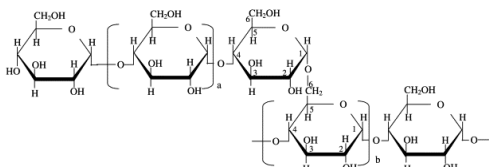


Figura 3: Estructura de amilopectina (Tester R. F., 2004)

Los métodos utilizados para la determinación cuantitativa de almidón consisten básicamente de dos etapas, hidrólisis de almidón a glucosa y cuantificación de la misma. Las técnicas analíticas oficiales de la AOAC constan de una hidrólisis ácida y formación de óxido de cobre (I), medido luego por gravimetría o titulación (AOAC, 1988). Otro método analizado es el basado en el Kit Sigma-Aldrich que involucra las etapas de hidrólisis enzimática y posterior cuantificación por colorimetría. Los resultados obtenidos mediante las técnicas antes mencionadas, fueron comparados con los generados por el método de polarimetría, determinación realizada en un laboratorio privado, el cual da resultados en base seca, por lo que fue necesario realizar determinaciones de humedad a las muestras analizadas.

2. Materiales y Métodos

2.1. Reactivos

Para las técnicas de la AOAC se emplearon ácido clorhídrico y tartrato de sodio y potasio grado ACS, Anedra Argentina, hidróxido de sodio, permanganato de potasio, sulfato férrico amonio, oxalato de sodio y o-fenantrolina grado ACS, Cicarelli Argentina, sulfato de cobre grado Pro-análisis, Cicarelli Argentina, Celite Hyflo Super-Cel, Celite. Mientras que para el método enzimático se emplearon los reactivos incluidos en el kit de determinación de almidón, α -amilasa, almidón de maíz, glucosa oxidasa/peroxidasa, o-dianisidina, glucosa, Sigma-Aldrich, Estados Unidos.

2.2. Muestras

Se utilizaron muestras de maíz dentado provenientes de la región centro-sur de la provincia de Córdoba.

2.3. Equipos

En las determinaciones se emplearon molino Arcano, agitador magnético, balanza Analítica OHAUS, bomba de vacío Arcano, filtros Gooch, baño termostatzado, Espectrofotómetro UV-Vis MetroLab 1700, estufa de secado con corriente de aire y desecador.

2.4. Técnicas analíticas de la AOAC

Se utilizó la técnica 920.44 para la hidrólisis ácida del almidón y la 906.03 para la precipitación y cuantificación del óxido de cobre (AOAC, 1988).

Para la determinación se emplearon 5 g de muestra molida. Se ensayaron los métodos de hidrólisis ácida indirecta (muestras con calcio) y directa (muestras sin calcio), cuya diferencia entre ambas es el tratamiento de la muestra con ácido clorhídrico diluido o agua destilada, respectivamente, determinándose que el método directo es el correcto para las muestras en análisis. Posteriormente se filtró y lavó la muestra tratada, recuperándose el residuo insoluble, al cual se le agregó 20 ml de ácido clorhídrico, $\delta=1,125$ g/ml, 200 ml de agua destilada y se calentó durante 2,5 h en un balón provisto de condensador para evitar la evaporación. A continuación se enfrió y neutralizó con hidróxido de sodio en perlas, se transfirió a un matraz de 250 ml, se enrasó con agua destilada y se filtró. A 25 ml del líquido obtenido se le agregaron iguales volúmenes de tartrato alcalino, sulfato de cobre (preparados según el método 923.09, (AOAC, 1988)) y agua destilada, dando un volumen final de 100 ml. Se procedió a calentar cuidadosamente esta solución durante 4 minutos, seguidos de 2 minutos de ebullición, tiempos que debieron respetarse de manera rigurosa. En caliente se filtró mediante un filtro Gooch, previamente preparado con un lecho de diatomea, secado a estufa a 100°C, hasta peso constante. Luego del filtrar la totalidad de la muestra se lavó con agua, a 60°C, y con alcohol etílico, para acelerar el proceso posterior de secado. Se secó en estufa a 100°C hasta peso constante, luego se pesó y el contenido de óxido de cobre (I), se leyó en la tabla contenida en el apartado 940.39 (AOAC, 1988), para convertirlo en glucosa y posteriormente en almidón.

2.5. Método de hidrólisis enzimática, Sigma

El procedimiento fue realizado de acuerdo a lo indicado en el kit de determinación de almidón STA20 de Sigma- Aldrich, Inc. (Sigma)

La muestra debió ser finamente molida, lo cual se realizó con molino de laboratorio y luego con mortero, no llegando a obtenerse la granulometría indicada en el procedimiento. Se ensayaron los pre-tratamientos para muestras que contuviesen glucosa o maltodextrina y/o almidón resistente, concluyéndose que los mismos no eran necesarios para las muestras en análisis.

Al no ser necesarios pre-tratamientos, el análisis comenzó con la digestión del almidón. Se pesó 10 mg de muestra, a la cual se le agregó 0,2 ml de etanol 80%, se mezcló y agregó 3 ml de agua y 0,02 ml de α -amilasa, se agitó e incubó 5 minutos en baño de agua hirviendo. Luego se enfrió a temperatura ambiente y se llevó el volumen a 10 ml con agua destilada. Se tomó 1 ml de esta solución, a la cual se le agregó 1 ml de la solución de almidón provista por el kit, se mezcló e incubó 15 minutos en baño de agua a 60°C con agitación. Se tomó 1 ml y se lo enrasó a 10 ml con agua.

La siguiente etapa fue la determinación de la glucosa, para la cual se tomó 1 ml de la solución obtenida al final de la digestión del almidón, se le agregó 2 ml de reactivo de glucosa, se mezcló e incubó exactamente 60 minutos (tiempo corregido de acuerdo a la granulometría de la muestra). La reacción se frenó con 2 ml de ácido sulfúrico 12N, se mezcló y midió la absorbancia a 540 nm. La técnica requiere un blanco de reacción, el cual consiste en un análisis en paralelo sin muestra.

La curva de calibración se realizó analizando cantidades conocidas del almidón de maíz de referencia, con el procedimiento descrito anteriormente, con la única diferencia que aquí se incubó 30 minutos, ya que la granulometría era óptima.

2.6. Método polarimétrico Ewers

Este ensayo fue realizado por un laboratorio privado, y corresponde a una determinación oficial. El método comprende una doble determinación. En la primera, la muestra se trató en caliente mediante ácido clorhídrico diluido. Previa evacuación y filtración, se midió mediante un polarímetro el poder rotatorio de la solución. Esta etapa permitió determinar el contenido en almidón y sus productos de degradación de alto peso molecular. En un segundo paso, la muestra se extrajo con etanol al 40%. Tras la acidificación del filtrado con ácido clorhídrico, evacuación y filtración, se midió el poder rotatorio en las mismas condiciones que en la primera determinación. Mediante esta determinación se eliminan los productos que interfieren en la primera lectura (FEDNA, 2000).

2.7. Humedad

Se secaron cápsulas de vidrio a 130°C hasta peso constante, en ellas se pesaron muestras de aproximadamente 1g, se llevó el producto a 130°C bajo presión atmosférica normal, durante una hora y media, continuando el tratamiento hasta peso constante (Panreac Química S.A., 2006). La determinación se realizó por duplicado.

2.8. Análisis de datos

El análisis de datos se llevó a cabo utilizando el programa StatGraphics Centurion.

3. Resultados y Discusión

Para la realización de las técnicas seleccionadas, fueron necesarias algunas modificaciones y/o pruebas para asegurar la correcta elección. Los métodos de la AOAC presentan diversas opciones para cuantificar el óxido de cobre (I), de las cuales se probaron titulación y gravimetría, resultando más conveniente esta última. Para la titulación era necesario disolver el precipitado de óxido de cobre (I), generándose en este paso pérdida de muestra. Además se reemplazó el lecho filtrante dado en la técnica, debido a su demostrada toxicidad.

En relación a la determinación por hidrólisis enzimática, se probaron los tratamientos sugeridos por el kit de determinación de almidón de Sigma-Aldrich, para muestras con glucosa, maltodextrina y/o almidón resistente, determinándose que para los maíces en análisis no fueron necesarios. Debido a las dificultades para lograr la granulometría indicada en el procedimiento, se ensayaron tiempos de digestión más prolongados, verificándose la necesidad de incubar la muestra durante 60 minutos, no 30 minutos como se especifica en el procedimiento. Para la interpretación de los resultados debió elaborarse una curva de calibración, analizando almidón de maíz de referencia.

Las determinaciones por el método polarimétrico se encargó a un laboratorio privado y no presentaron mayores dificultades.

Las comparaciones que a continuación se analizan, fueron realizadas con los datos de almidón en base seca.

Se analizaron 26 muestras mediante las técnicas de la AOAC por duplicados, en algunos casos por el mismo analista y en otros por diferentes, razón por la cual se consideró en primer lugar la influencia de estos en la obtención de resultados, mediante el análisis de muestras pareadas. Se concluyó que los duplicados, realizados por el mismo analista o distintos, son estadísticamente iguales, pudiendo promediarse para ser comparados luego con los resultados de los demás métodos.

El método enzimático se realizó a 6 muestras por duplicados. De los datos obtenidos sólo se analizaron aquellos cuya diferencia entre duplicados fue menor al 5%, descartándose 2 muestras con diferencias superiores al 14%.

La comparación entre métodos fue realizada tomándolos de a dos, mediante el análisis de muestras pareadas. La distribución de las diferencias entre los resultados del método de la AOAC con la polarimétrica es sesgada, mostrando una tendencia de este último a dar valores superiores a los obtenidos por el método analítico, con una mayor frecuencia la diferencia entre 1,8% y 2,1%.

Cuando se analizaron los resultados del equipo de polarimetría versus el método enzimático la curva de densidad de diferencias se mostró sesgada, significando que el método enzimático dio valores mayores para idénticas muestras. Mediante los ensayos realizados se comprobó además que este método presenta también el inconveniente de la falta de repetibilidad de los resultados, siendo una de las probables causas la mínima cantidad de muestra con la que se trabajó, y los errores que esto conlleva. Cabe destacar que la cantidad de muestras analizadas con el kit Sigma es significativamente menor que con los otros métodos.

Al compararse los métodos de hidrólisis ácida e hidrólisis enzimática, en este caso también se observa que los valores obtenidos mediante el último método son significativamente mayores.

Finalmente se analizaron los tres métodos simultáneamente, obteniéndose los valores estadísticos mostrados en la Tabla 2. Aquí puede observarse que la menor desviación estándar y coeficiente de variación los presenta el método de polarimetría, teniendo la hidrólisis ácida valores levemente superiores.

Tabla 2: Resumen estadístico de los métodos analizados

	Muestras analizadas	Promedio (%)	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo (%)	Máximo (%)	Rango (%)
Hidrólisis ácida	26	68,73	1,44	2,09%	66,10	71,44	5,34
Polarimetría	26	71,01	1,24	1,75%	66,60	72,60	6,00
Hidrólisis enzimática	4	72,95	3,54	4,86%	68,49	77,13	8,64

Al realizar la gráfica de dispersión de los datos obtenidos mediante los tres métodos (Figura 4), puede concluirse que el método polarimétrico presenta la menor desviación, siendo esta levemente superior para la hidrólisis ácida. La diferencia entre los valores obtenidos mediante los métodos antes mencionados es del -2,6%, tomando como referencia el método polarimétrico, siendo esta variación independiente del contenido de almidón. El método de hidrólisis enzimática presenta mayor desviación, con tendencia a valores superiores.

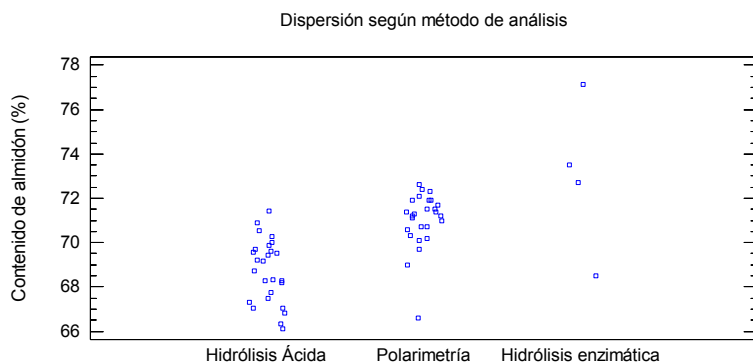


Figura 4: Gráfico de dispersión según el método de análisis.

4. Conclusiones

La puesta a punto del método de hidrólisis ácida de la AOAC no fue simple. Se cambió el lecho filtrante, debiendo encontrarse uno que funcionara adecuadamente y no fuese nocivo para los analistas y/o el medio ambiente. Los materiales necesarios para el desarrollo de la técnica son comunes y están disponibles en la mayoría de los laboratorios. Los reactivos necesarios tampoco llevaron mayores complicaciones. La cuantificación de óxido de cobre (I) puede realizarse de diversas maneras, se ensayaron titulación y gravimetría, para determinar que esta última era menos laboriosa y más precisa. Como cualquier técnica analítica, los resultados dependen de la habilidad del analista, en algunos casos debieron realizarse más de 2 ensayos para obtener datos confiables. Para completar esta técnica, al igual que la hidrólisis enzimática, fue necesaria la determinación de la humedad de la muestra. La hidrólisis es un proceso que requiere mucho tiempo, más aún la ácida, motivo por el cual la técnica de la AOAC es prolongada y requiere muchos materiales.

El método enzimático es más rápido que la hidrólisis ácida, requiere de espectrofotómetro, y los reactivos incluidos en el Kit de determinación de almidón de Sigma, los cuales son costosos. Al utilizarse pequeñas cantidades de muestra puede inferirse en importantes errores de muestreo y pesada principalmente.

Si se comparan las medias obtenidas con el valor promedio de almidón en maíz, 72,4% en base seca, la menor diferencia la presenta el método de hidrólisis enzimática, pero la desviación estándar es elevada, razón por la cual se elige como más preciso la determinación polarimétrica. Si se cuenta con el polarímetro, esta técnica es la recomendada, además de ser oficial y estar certificada. En laboratorios que no cuenten con el equipo antes mencionado se recomienda utilizar la técnica de hidrólisis ácida, cuantificando por gravimetría, ya que la desviación estándar y el error no son aceptables.

5. Agradecimientos

A la SCyT de la FRVM de la UTN por el apoyo recibido para el desarrollo del presente trabajo y a la empresa PORTA Hnos S.A. por sus aportes de insumos, equipamientos y disponibilidad de información técnica específica que permitieron la realización de los ensayos experimentales. Los cuales fueron recibidos en el contexto del convenio de vinculación tecnológica existente.

Al Mg. José Peralta de la FRVM por el apoyo en el análisis e interpretación de los datos estadísticos.

6. Referencias

- Alvarez, A. (2006). Aplicaciones del maíz en la tecnología alimentaria y otras industrias. ILSI Argentina.
- AOAC. (1988). Official methods of analysis of AOAC international.
- BeMiller, J., & Whistler, R. (2009). Starch, Chemistry and technology. Elsevier.
- FEDNA. (2000). Almidón. Método polarimétrico (EWERS). España.
- K.A. Jacques, T. L. (2003). The alcohol textbook.
- Panreac Química S.A. (2006). Métodos analíticos en alimentaria. Cereales, derivados de cereales y cerveza.
- Sigma. Kit de determinación de almidón (método amilasa/amiloglucosilasa). Producto STA20. USA.
- Tester R. F., K. J. (2004). Starch—composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science* 39, 151-165.

EVALUACION DE LA POTENCIAL CAPACIDAD PARA EL ALMACENAMIENTO DE HIDROGENO Y CARACTERISTICAS DE MATERIALES MESOPOROSOS TIPO MCM-41

Carraro, Paola María

Estudiante de Doctorado FAMAF-CONICET. e-mail: paocarraro@gmail.com

Tutores: Dr. Marcos I. Oliva¹, Dra Griselda Eimer², Dra Verónica Elías².

1 -Instituto de Física Enrique Gaviola – CONICET – UNC. omarcos@famaf.unc.edu.ar.

2 -CITeQ - Facultad R. Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional – CONICET

RESUMEN

El petróleo y los restantes combustibles fósiles son una fuente de energía no renovable y al mismo tiempo una de las principales causantes de las emisiones de CO₂, las cuales son responsables del fenómeno de calentamiento global y cambios climáticos relacionados. La existencia de la civilización humana, y la preservación de su habitad en la Tierra, a mediano y largo plazo, están condicionadas a encontrar una fuente de energía renovable y no contaminante. Es por esto que desde hace un tiempo se han estado conduciendo investigaciones y desarrollos en la búsqueda de nuevas fuentes de energías no contaminantes ^[1].

El hidrógeno es una de las principales alternativas para reemplazar los productos del petróleo debido a que constituye un tipo de energía limpia y eficiente, con notables ventajas debido a su abundancia, ligero peso, gran poder calorífico y cero emisiones contaminantes durante la combustión. Sin embargo, existen barreras tanto en su producción, transporte y almacenamiento, que impiden o retrasan su implementación ^[2].

Actualmente hay investigaciones en curso para desarrollar materiales para el almacenamiento de hidrógeno en grandes cantidades a temperaturas cercanas a la ambiente. Estas alternativas incluyen el almacenamiento en materiales sólidos como hidruros metálicos, nanoestructuras basadas en carbono, marcos metalorgánicos (MOF), polímeros orgánicos, compuestos intermetálicos, soluciones solidas, materiales microporosos, entre otros. Entre los mejores sólidos porosos conocidos se encuentra el sistema MCM-41, tanto como material puro como dopado con iones metálicos. Tiene diversas aplicaciones en los campos de la catálisis, procesos de adsorción-separación, sensores, biomedicina, tecnología ambiental y la industria petroquímica, debido a la gran superficie específica, gran volumen de poros, tamaño uniforme de poro en el rango de 2-10 nm y posibilidad de modificar su superficie con la presencia de distintos grupos funcionales ^[3].

Este trabajo consiste en una revisión bibliográfica de los distintos tipos de materiales mesoporosos del tipo MCM-41, evaluando ventajas y desventajas de su potencial capacidad de almacenamiento de hidrógeno, para seleccionar aquel que reúna las mejores condiciones.

Palabras Claves: Hidrógeno, mesoporosos, almacenamiento, MCM-41.

1. INTRODUCCION

Los materiales mesoporosos ocupan un lugar primordial en las nuevas tecnologías modernas, ya que tienen múltiples aplicaciones. Los MCM-41 son tamices moleculares mesoporosos, que pueden clasificarse como materiales ordenados o semicristalinos, intermedio entre la clasificación de cristalinidad existente entre los geles porosos y los silicatos laminares. Es un material de alta área superficial

(superior a 1000 m²/g), con gran estabilidad térmica, que presenta un arreglo hexagonal de poros unidimensionales con un volumen específico de hasta 1,3 ml/g, cuyos diámetros pueden controlarse entre 2 y 10 nm; los cuales pueden variarse, modificando el surfactante que se utilice en su síntesis. Tales características además de sus propiedades de adsorción, los hacen sumamente adecuados para diversas aplicaciones en catálisis ácida, básica o redox. Esto ha estimulado numerosos estudios para mejorar las propiedades fisicoquímicas de estos materiales y modificar procedimientos de síntesis con el objeto de incrementar su potencial reducibilidad^[4].

Dopado con diferentes tipos de elementos de transición, MCM-41 podría ser utilizado como catalizador y / o adsorbente de moléculas voluminosas. Sin embargo, MCM-41 que consiste en un marco de sílice puro es de uso limitado para aplicaciones como catalizadores y adsorbentes, debido a que la superficie de sílice pura presenta casi electro-neutralidad y tiene muy pocos sitios ácidos. Por esta razón, muchos parámetros han sido investigados para determinar la actividad catalítica de MCM-41. Normalmente, la actividad depende de la naturaleza del soporte, que puede modificar las propiedades de la fase activa, tanto física como química, su acidez, potencial de reducción, y el grado de interacción con el metal activo, desempeñan importantes papeles en la compleja química de los catalizadores metálicos soportados.

Por lo tanto, la capacidad de los tamices moleculares mesoporosos para adsorber selectivamente distintos sustratos o para actuar como reservorios o matrices para una variedad de nano-partículas depende del diámetro de poros del material y de las modificaciones químicas de su superficie.

Materiales del tipo MCM-41 resultan entonces ideales para actuar de soportes o para confinar nanocompuestos magnéticos en un arreglo cuasi uni-dimensional debido a su particular topología de canales paralelos.

En este trabajo, se realizará una comparación de varias características obtenidas a partir de una revisión bibliográfica (diámetro de poro, área superficial, formación de óxidos, presencia de clústers, consumo de H₂, etc) de diferentes materiales mesoporosos modificados con distintos metales de transición (cromo, hierro y cobalto).

El objetivo consiste en elegir, a partir de una evaluación de su potencial capacidad de almacenamiento de hidrógeno, de distintos materiales mesoporosos, cual podría resultar la mejor opción.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Síntesis

Los materiales mesoporosos del tipo MCM-41 modificados con Fe, Co y Cr a estudiar fueron sintetizados por el método de impregnación húmeda y caracterizados por difracción de rayos X (DRX) a bajo y alto ángulo, absorción de N₂ y reducción térmica programada según lo reportado en Tesis doctoral Ingeniera Verónica Elías, UTN-FRC, 2012.^[5]

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Con el objetivo de comparar los diferentes catalizadores estudiados se presenta una tabla con la composición química y propiedades texturales y estructurales de los mismos. La tabla 3.1 contiene los porcentajes en peso de cada metal en cada muestra, el área superficial, el volumen (V_p) y diámetro de poro (D_p).^[4,5] La incorporación de metales de transición en la estructura de MCM-41 da como

resultado una disminución de la superficie, por lo que también así del volumen y diámetro de poro.

Tabla 3.1

Composición química y propiedades texturales y estructurales de los catalizadores MCM-41.

Muestra	Cr (%p/p) ^a	Fe (%p/p) ^a	Co (%p/p) ^a	Área (m ² /g)	V _p (cm ³ /g)	D _p (Å) ^b	t _w (Å) ^c
MCM-41	-	-	-	1182	1.15	27.0	14.9
Cr-MCM-41(5)	4.500	-	-	1006	0.83	26.3	14.5
Fe-MCM-41(5)	-	4.590	-	886	0.75	25.2	14.4
Co-MCM-41(5)	-	-	5.400	945	0.79	25.4	16.4

^a Medido por el método AA

^b Diámetro de poro correspondiente a la máxima distribución de poro obtenido por el método BJH.

^c t_w=a₀-D_p donde a₀ es el parámetro de celda y D_p el diámetro de poro promedio, medidos en angstrom (Å)

Las propiedades estructurales de las muestras MCM-41 después de la incorporación de metales de transición se caracterizaron por medidas de difracción de rayos X. Los resultados se muestran en la figura 3.1 y 3.2 [4,6].

La figura 3.1 muestra los correspondientes patrones de difracción de bajo ángulo de los catalizadores calcinados. En el gráfico se observan estructuras típicas de materiales mesoporosos MCM-41 con un arreglo hexagonal de poros unidimensionales.

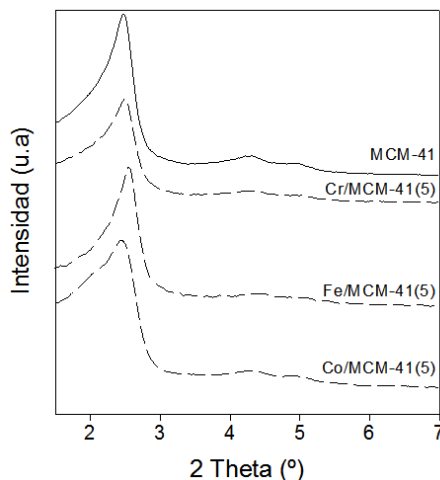


Fig 3.1. Patrones de difracción de rayos X (DRX) de bajo ángulo de los catalizadores MCM-41.

La figura 3.2 muestra los patrones de alto ángulo de DRX para todas las muestras calcinadas. Para la muestra de cromo, las líneas de difracción a 2θ= 24.6, 33.8, 36.4, 41.7, 50.6, 55.2, 63.9, 65.6, y 73.5°, corresponden a la fase cristalina de α- Cr₂O₃.

La falta de picos de XRD asignables a los óxidos de hierro cristalinos para la muestra de hierro, sugiere que las especies metálicas están finamente dispersas dentro de los canales y los óxidos, si existen, están en estado amorfo o son clústers/partículas demasiado pequeñas para ser detectadas por el DRX. Para la muestra de cromo se observan pequeños picos a $2\theta = 36.8, 44.8, 50.6, 59.3$ y 65.2° característicos de la presencia de nano-partículas de Co_3O_4 .

Cabe señalar que aunque las partículas de óxidos de gran tamaño (Cr_2O_3 y Co_3O_4) en la superficie externa fueron detectadas por difracción de rayos X, este hecho no nos permite descartar la existencia de diferentes especies de metal ancladas o muy dispersas dentro de los canales mesoporosos.

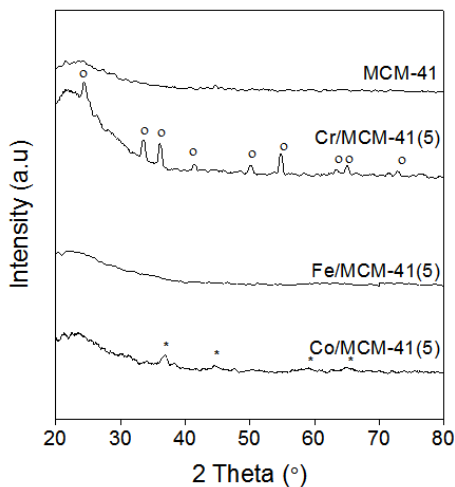


Fig 3.2. Patrones de difracción de rayos X (XRD) de alto ángulo de los catalizadores MCM-41.

Los perfiles de TPR de los catalizadores calcinados se presentan en la figura 3.3, correspondientes a cada muestra [4]. La reducibilidad de especies metálicas absorbidas permite la detección de las interacciones entre el metal y el soporte. El TPR es un proceso bulk, no todas las partículas expuestas a hidrógeno al mismo tiempo producen una dependencia de la temperatura máxima en el tamaño de partícula. Para óxidos voluminosos se espera un aumento en la temperatura máxima con el tamaño de partícula. Sin embargo, óxidos metálicos cargados o incorporados en soportes inertes pueden exhibir diferentes comportamientos de reducción en comparación con los óxidos metálicos no soportados (bulk). En este sentido, los perfiles de TPR de óxidos de metal soportados sobre matrices inertes tales como MCM-41, son en general más complejos que la de los óxidos de metal voluminosos porque existe una amplia gama de variables, incluyendo el tamaño de partícula del óxido de metal y su interacción con la matriz. Se sabe que una disminución en el tamaño de las partículas de óxido de metal hace que la reducción sea más rápida debido a una relación área específica/volumen, mientras que las partículas más pequeñas interactúan más intensamente con el soporte y retardan la reducción. Por lo tanto, la reducibilidad de los materiales sería el resultado de la competencia de estos dos factores.

Con respecto a las muestras de Cr/MCM-41 (5), se observa una banda de reducción de un solo centro a 550°C , debido a la reducción de iones de Cr^{6+} a Cr^{3+} . Este único pico a alta temperatura en el perfil de la muestra Cr/MCM-41 (5) se da por

el predominio de Cr (VI) como especies monocromáticas de alta interacción con el soporte. Este hecho sería una consecuencia de la mayor dispersión de estas especies debido al bajo contenido de Cr.

Basándose en estos resultados podemos concluir que en la muestra el Cr existe principalmente en el estado de oxidación 6+ (mono y di / policromatos). Este hecho está de acuerdo con los resultados de difracción de rayos X que indican baja presencia de partículas α -Cr₂O₃ de menor tamaño.

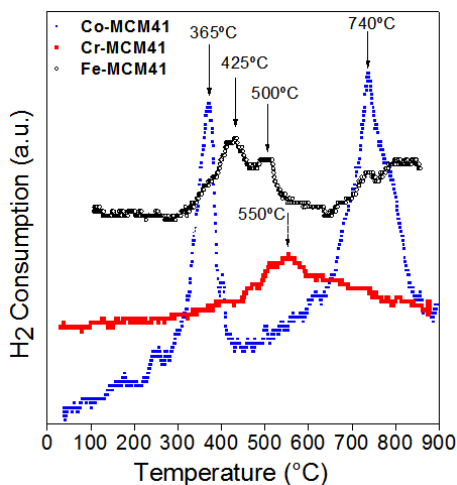


Fig 3.3. Perfiles de Reducción de Temperatura Programada de los catalizadores MCM-41.

El perfil de TPR de la muestra de Fe/MCM-41 nos permite estimar la reducibilidad de las especies de hierro. Se observan dos picos bien resueltos a 425 y 500°C. Estos pueden estar relacionados con los siguientes dos procesos: Fe₂O₃ → Fe₃O₄ y Fe₃O₄ → FeO, respectivamente. Por otro lado, el consumo de hidrógeno a temperaturas superiores a 700°C puede ser atribuida a especies de Fe³⁺ de difícil reducibilidad.

Esta alta temperatura de reducción es un indicador del efecto protector del soporte mesoporoso, que protege a los cationes Fe³⁺ aislados del ataque de H₂. Por lo tanto, al haber bajo contenido en hierro, las especies Fe³⁺ se reducen, incluso a altas temperaturas, sólo a especies Fe²⁺, ya que las especies de hierro están estabilizadas en la estructura de MCM-41, y por lo tanto presentan alta resistencia a la reducción al estado metálico.

Para la muestra de Co/MCM-41 dos regiones de reducción pueden ser distinguidas: una a baja temperatura (LT) y una a alta temperatura (HT), que puede atribuirse a la reducción de las especies de óxido de metal con diferente dispersión y diferente interacción con el soporte. Un primer doblete que aparece en el intervalo de temperatura entre 300-400°C y puede ser atribuido a cristalitas Co₃O₄ que interactúan con la superficie y no están bien dispersos en ella, dando lugar a la reducción a temperatura más baja. Es bien sabido que la reducción de Co₃O₄ se lleva a cabo en dos etapas: el primer pico de reducción corresponde al siguiente proceso: Co₃O₄ → CoO, mientras que el segundo corresponde a la transición de CoO → Co⁰. Por otro lado, el pico intenso en la región HT puede ser atribuida a especies Co³⁺ y Co²⁺, que se dispersan finamente e interactúan fuertemente con la superficie, resultando en una reducción a temperaturas más altas.

4. CONCLUSIONES

Los tamices moleculares mesoporosos impregnados con los diferentes metales de transición (Cr, Fe y Co), luego de la incorporación de estos presentan buena regularidad estructural, conservando la estructura de los materiales MCM-41.

La impregnación con estos metales de transición provoca una disminución en el área superficial obtenida por el método BET. La menor disminución en el área superficial la presenta la muestra Cr/MCM-41^[3], seguida por la muestra impregnada con cobalto, presentando la mayor disminución las impregnadas con Fe. Este comportamiento es observado de manera similar al analizar tanto el volumen como el diámetro de poro.

Solo la muestra de Co/MCM-41^[3], mostró un ligero incremento en el espesor de pared con respecto a MCM-41, lo que indicaría la presencia de Co finamente disperso dentro de los canales.

Otros autores han reportado el comportamiento de materiales mesoporosos relacionándolos con su área superficial (BET)^[2,7], encontrando que la misma presenta un comportamiento cuasi-lineal con el área superficial. También encontraron un comportamiento similar con el volumen de poro (V_p) lo cual del simple análisis de las características estructurales indicaría que la muestra impregnada con Cr sería la mejor candidata a lograr una mayor almacenamiento por adsorción del hidrógeno, ya que es la que presenta mayor área superficial y volumen de poro entre las muestras impregnadas, pero siempre menor que la matriz MCM-41. Luego continuarían las muestras impregnadas con Co, finalizando con las muestras impregnadas con Fe. Sin embargo este es solo un aspecto que debe ser contrastado con la caracterización de su capacidad de almacenar hidrógeno (adsorción) y su subsecuente liberación (desorción) del mismo.

REFERENCIAS

- [1] J. Hernández-Obregón, F. Marquez Montesinos, R. Zanzi Vigouroux. Almacenamiento de hidrógeno en materiales moleculares.
- [2] K. Mark Thomas. Hydrogen adsorption and storage on porous materials. *Catalysis Today* 120 (2007) 389–398.
- [3] Chundong Wu, Qiuming Gao, J. Hu, Zhi Chen, Wei Shi. Rapid preparation, characterization and hydrogen storage properties of pure and metal ions doped mesoporous MCM-41. *Microporous and Mesoporous Materials* 117 (2009) 165–169.
- [4] V. R. Elías, E. Vaschetto, K. Sapag, M. Oliva, S. G. Casuscelli, G. A. Eimer. MCM-41-based materials for the photo-catalytic degradation of Acid Orange 7. *Catalysis Today* 172 (2011) 58– 65.
- [5] V. R. Elías. Síntesis y Caracterización de materiales mesoporosos para su aplicación en reacciones de degradación fotocatalíticas, Tesis doctoral UTN-FRC, 2012.
- [6] V. R. Elías, M. I. Oliva, S. P. Silvetti, S. G. Casuscelli, M. E. Crivelloa, E. R. Herrero, S. E. Urreta, G. A. Eimer. Síntesis, estructura y propiedades magnéticas de tamices moleculares mesoporosos modificados con Fe por diferentes métodos. XXI SICAT. Málaga-Benalmádena-Costa. España, 2008.
- [7] M.G. Nijkamp, J.E.M.J. Raaymakers, A.J. van Dillen, K.P. de Jong. Hydrogen storage using physisorption – materials demands.
- [8] V. R. Elías, M. E. Crivello, E. R. Herrero, S. G. Casuscelli, G. A. Eimer. Some considerations to optimize the synthesis procedure and the structural quality of mesostructured silicas. *Journal of Non-Crystalline Solids* 355 (2009) 1269–1273.

COMPUESTOS FENÓLICOS EN LA FRACCIÓN SALVADO DE VARIEDADES DE TRIGOS ARGENTINOS Y SU ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

S. Garnero. V. Caporali. E. Carrillo. M. Panero
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco
garnerosu@gmail.com

Resumen

Una dieta a base de trigo entero ha sido sugerida para reducir ciertas enfermedades crónicas degenerativas como las cardiovasculares y el cáncer de colon. Los compuestos fenólicos del trigo, presentes en su mayoría en el salvado, contribuyen en gran medida al beneficio de la salud en el aspecto anteriormente mencionado. En el presente trabajo se midió la cantidad de compuestos fenólicos libres (FLI), conjugados (FCO) y totales (FT) y la actividad antioxidante (AA) en 35 cultivares pertenecientes a la RET 2 MJ (Red de estudios del trigo zona 2, Marcos Juárez) año 2009 de ciclos intermedios, cortos y largos. Los FLI fueron extraídos con una solución 80 % v/v de agua en alcohol, su contenido osciló $1.008 \pm 94 \mu\text{g/g}$ y $2.092 \pm 54 \mu\text{g/g}$ de equivalente en ácido gálico en salvado (GAE) y un promedio de $1.379 \pm 33,4 \mu\text{g/g}$ de GAE. Los residuos del paso anterior fueron tratados con solución alcalina de NaOH 0,2 N y extraídos primero con éter etílico concentrado y luego con solución de acetato de etilo liberándose los fenólicos conjugados cuyo contenido osciló entre $3.278 \pm 179 \mu\text{g/g}$ y $6.697 \pm 14 \mu\text{g/g}$ y un promedio de $4.448 \pm 46 \mu\text{g/g}$, constituyendo el 75 % aproximadamente de los FT. El contenido en FT en la fracción salvado dio $5.826 \pm 82 \mu\text{g/g}$ GAE. La actividad antioxidante varió de de 9,87 % a 20,68 % y un promedio general de $13,63 \pm 0,62$ %. Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante el programa INFOSTAD de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba estableciéndose comparaciones y relaciones entre las variedades, los ciclos de cultivo y los grupos de calidad industrial frente a la variable fenólicos totales.

Palabras claves: compuestos fenólicos libres, compuestos fenólicos conjugados, ácido gálico.

Introducción

Una dieta a base de trigo entero, además de cumplir una función nutricional reconocida mundialmente, ha demostrado reducir la incidencia de las principales enfermedades humanas tales como la diabetes, enfermedades cardiovasculares y cáncer (Wilcox et al. 2004). Ello sugiere que los componentes de trigo tipo fibra son responsables de los beneficios de protección hacia la salud. Esta observación ha llevado a algunos investigadores a centrarse en los compuestos fenólicos como los agentes causantes de dichos beneficios (Sang et al. 2006). Los compuestos fenólicos son los principales metabolitos secundarios elaborados por las plantas y comprenden un amplio grupo de compuestos caracterizados por un anillo aromático al que se unen diversos grupos sustituyentes, tales como hidroxilo, carboxilo y metoxilo y frecuentemente otras estructuras cíclicas no aromáticas. Los compuestos fenólicos se diferencian de los lípidos en que son más solubles en agua y menos solubles en solventes orgánicos no polares. Sin embargo, algunos compuestos fenólicos son bastantes solubles en éter, especialmente cuando el pH es lo bastante bajo como para impedir la ionización de cualesquiera de los grupos carboxilos e hidroxilo presentes. Esta propiedad ayuda mucho en la separación de estos compuestos entre sí y de otros compuestos (Salisbury-Ross, 2000). En el trigo se encuentran en forma libre confinado sobre todo en las células aleurónicas o ligado a polisacáridos tipo hemicelulosas solubles (Krygier et al. 1982). Los compuestos fenólicos en el grano de trigo, están representados mayormente por el ácido ferúlico, un derivado del ácido cinámico (Abdel-Aal et al. 2001). El ácido ferúlico forma enlaces cruzados con sacáridos como arabinoxilanos y los ácidos orgánicos de las paredes celulares y se piensa que confiere resistencia contra los insectos (depredadores), patógenos microbianos y acción protectora de la radiación UV (McCallum y Walker 1990; Abdel-Aal et al. 2001).

Muchos de estos compuestos fenólicos presentan fuertes propiedades antioxidantes que desactivan o atrapan los radicales libres donando electrones y por tanto reducen o minimizan el

daño oxidativo a las proteínas, el ADN y los lípidos (Salisbury-Ross, 2000). Esta reducción en el daño oxidativo a las células y componentes celulares puede explicar inhibición de enfermedades como el cáncer y enfermedades cardiovasculares, que puede ser causada o agravada una vez que la enfermedad ha progresado por el estrés oxidativo celular (Wilcox et al. 2004).

En el presente trabajo se realizó la extracción y cuantificación de los compuestos fenólicos del trigo en su fracción salvado, donde se hallan en mayor proporción (Zielinsky- Kozłowska, 2000) de una serie de 35 cultivares provistos por la RET 2 MJ. La calidad de los compuestos mencionados, desde el punto de vista saludable, estuvo medida por la actividad antioxidante, una de las principales propiedades de los compuestos fenólicos. La cuantificación de los compuestos fenólicos se hizo a través del reactivo de Folin-Ciocalteu mediante espectrofotometría visible (Singleton, V. et al. 1999). La curva de calibrado se construyó a partir de una solución de ácido gálico de concentración conocida y una serie de estándares de la misma sustancia a diferentes concentraciones. Para la medición de la actividad oxidante se empleó una solución de DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidracilo) (Beta et al. 2005) previa realización de la curva de calibrado para esta sustancia. Los resultados se procesaron estadísticamente a través del programa INFOSAT y se dedujeron conclusiones tratando de relacionar el ciclo del cultivo y los grupos de calidad con el contenido en compuestos fenólicos.

Materiales y Métodos

Las 35 muestras de trigo comprenden los cultivares: ACA (303, 304, 305, 315 y 601); Baguette (17, 18 y P11); BIOINTA (1002, 2004, 3000, 3004 y 3005); BUCK (Mangrullo, Malevo, Meteoro, Ranquel y Taita); INIA Tijereta; KLEIN (Yarará, Capricornio, Carpincho, Gavilán, Guerrero, Pantera y Proteo); LE (2271; 2330, 2333 y 2371); SRM Nogal; THEMIX L; BIOINTA (3003, 1005 Y 1006). Los reactivos Folin-Ciocalteu solución 2 N, Éter Etilico, Metanol, Etanol y Acetato de Etilo (Ciccarelli, San Lorenzo, Sta. Fe, Argentina); Acido Gálico (Biopack); 2,2-difenil-1- picrilhidracilo (DPPH) (Sigma Aldrich, Co, St. Louis, USA).

Preparación de las muestras y extracción.

Todas las muestras (100 g) fueron acondicionadas a 15 % de humedad y luego molidas usando un molino Agromatic AG modelo ACQ (Agromatic AG, Zurich, Switzerland) siguiendo los Métodos 25-50 (AACC Internacional 2000). De cada muestra se seleccionó la fracción salvado. Todos los ensayos se realizaron por duplicado.

Los FLI fueron extraídos con soluciones alcohólicas de acuerdo a lo sugerido por Adom et al. (2005), con algunas modificaciones a los fines de adaptar el instrumental disponible. En un tubo de centrífuga se pesó 1 g de salvado y se le agregó 10 mL de solución alcohólica (agua en etanol, 80 % v/v). Se agitó 2 min en un agitador de vaivén (Delver MP1011 A, Delver, La Plata, Argentina); se centrifugó a 2.500g por 10 min. Este proceso se repitió dos veces. Se colectaron los sobrenadantes y se evaporaron a temperaturas inferiores a 50 °C hasta un volumen inferior a 5 mL. Las muestras concentradas fueron llevadas a un volumen final de 10 mL con agua destilada en matraz aforado y guardadas en el refrigerador (5 °C) hasta el tratamiento posterior.

Los FCO fueron extraídos del residuo anterior siguiendo el método descrito por Krygier et al. (1982) con algunas modificaciones. Se pesó 0,5 g de residuo y se le agregó 20 mL de solución de NaOH 0,2 N. La mezcla fue agitada por espacio de 4 h en un agitador a 2.000 rpm que se mantuvo en un recipiente encerrado a temperatura constante de 20 °C (VELP Scientifica FTC 90, Velp, Usmate, Italia). Luego fue neutralizado a pH 2 con solución de HCl 2 N y se le agregó 20 mL de éter etílico y se centrifugó a 2500g por 10 min. Se retiró el sobrenadante y al residuo remanente se le agregó 20 mL de acetato de etilo, se centrifugó a 2.000g por 10 min. Ambos sobrenadantes se colectaron y se llevaron a evaporación a temperatura inferior a 50 °C hasta un volumen inferior a 5 mL. Los concentrados se llevaron a un volumen final de 10 mL con agua destilada en matraz aforado y se guardaron en refrigerador (5 °C) hasta tratamiento posterior.

Determinación del Contenido de Fenólicos

Las concentraciones de FLI y FCO existentes en los extractos fueron determinadas como describe Singleton et al. (1999) con algunas modificaciones. Se midió un volumen de 2,5 mL del extracto, se agregó 2 mL de agua destilada y luego 0,5 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu 1 N (dilución del comercial 2N) y 1,5 mL de solución de carbonato de sodio al 20 %. Todo se llevó a volumen de 25 mL y se guardó en la oscuridad por espacio de 2 h, para desarrollo del color azul. Paralelamente se preparó una solución patrón de Acido Gálico (1 mg/mL) y a partir de ella se prepararon los estándares de 0,1; 0,2; 0,4; 0,6 y 0,8 mg/L. Se tomó 1 mL de cada uno de ellos y se agregó 0,5 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu y solución de carbonato de sodio como se describió anteriormente y todo se llevó a un volumen de 10 mL. Los estándares así preparados se guardaron en la oscuridad por espacio de 2h y se procedió a trazar la curva de calibrado midiendo la absorbancia de ellos a 765 nm en un espectrofotómetro HACH DR 2800 (Hach Company, Loveland, USA). Con la curva trazada y rectificada se procedió a medir las absorbancias de las muestras para obtener los resultados en $\mu\text{g/g}$ equivalente a Acido Gálico (AGE). Verma et al. (2007) compararon curvas de calibrado trazadas con ácido gálico y ácido ferúlico (el fenólico más abundante en trigos) y no hallaron sustanciales diferencias.

Determinación de la Actividad Antioxidante.

Fue medida usando una solución de DPPH como describe Beta et al. (2005). El DPPH es un radical estable que absorbe a 515 nm pero frente a antioxidantes decrece su estabilidad lo que se refleja en una disminución de su coloración. El ensayo con DPPH es una medida de la capacidad de los compuestos fenólicos para captar el electrón y en ello radica el efecto antioxidante. Estos ensayos también se realizaron por duplicado. Se pesó 0,1 g de salvado y se agregó como extractante 1 mL de metanol. Se mantuvo en agitación por 2 h y se tomó 0,1 mL del extracto que se hizo reaccionar con 3,9 mL de solución metanólica de 23,6 mg/L de DPPH (6×10^{-5} mol/L). A esta mezcla se le midió la absorbancia a 515 nm en un espectrofotómetro HACH DR 2800 y se consideró absorbancia inicial (A_0). Al cabo de 30 min se volvió a medir la absorbancia y se consideró absorbancia 30 (A_{30}). La actividad antioxidante, medida por la decoloración. Los valores obtenidos se informaron como % de actividad oxidante \pm desviación estándar obtenidos a partir de la siguiente ecuación: $AA = (1 - (A_{30} / A_0))$

Resultados y Discusión

Los resultados de la cuantificación de compuestos fenólicos se muestran en la Tabla 1. Los FT fueron obtenidos por suma de los FLI más FCO. De acuerdo a ello puede establecerse que: los FLI oscilaron entre $1.008 \pm 94 \mu\text{g/g}$ y $2.092 \pm 54 \mu\text{g/g}$, con un promedio de $1.379 \pm 33,4 \mu\text{g/g}$. Los FCO oscilaron entre $3.278 \pm 179 \mu\text{g/g}$ y $6.697 \pm 14 \mu\text{g/g}$ con un promedio de $4.448 \pm 46 \mu\text{g/g}$ y para FT un promedio $5.826 \pm 82 \mu\text{g/g}$ donde se observa que aproximadamente el 75 % del contenido total de fenólicos constituyen los fenólicos conjugados, resultado que está de acuerdo por lo hallado por otros investigadores que evaluaron la relación FCO/FLI como 68 a 72 % (Verma et al. 2007). La actividad antioxidante varió de 9,87 % a 20,68 % con un promedio de $13,63 \pm 0,62$ %. Beta et al (2005) y otros investigadores arribaron, empleando el método aquí adoptado, valores promedios de 16 % de AA, resultado totalmente concordante.

La Figura 1 representa un gráfico de barras de la distribución de los FLI, FCO y FT en función de los ciclos de los cultivares. Se observa una mayor proporción de compuestos fenólicos en cultivares de ciclo intermedio corto. La Figura 2 representa un gráfico de barras de la distribución de los FLI, FCO y FT en función de los grupos de calidad industrial fijados por el INASE. De acuerdo a ello se observa una proporción mayor (leve) en los grupos 2 y 3 (de menor contenido proteico). Análisis de regresión lineal entre los FT y la AA señala que existe relación de dependencia entre estas variables ($p < 0,05$) y un coeficiente de correlación lineal muestral (r) de 0,96 (Di Rienzo et al. 2008).

Tabla 1. Compuestos Fenólicos en la fracción salvado y actividad antioxidante de 35 cultivares pertenecientes a la RET 2 MJ, 2009.

Donde Ciclo: I (intermedio); IC (intermedio corto); IL (intermedio largo); Grupo 1(trigos correctores); 2(trigos panificación fermentación tradicional) y 3 (trigos panificación fermentación rápida). FLI (compuestos fenólicos libres); FCO (compuestos fenólicos conjugados); AA (actividad antioxidante) y DE (desviación estándar).

Cultivar Ret 2 MJ	Ciclo	Grupo	Compuestos Fenólicos libres, conjugados y totales. (μg de ácido gálico equivalente/g de salvado)						AA (%)	
			FLI		FCO		FT		Media	D.E.
			Media	D.E.	Media	D.E.	Media	D.E.		
Aca 303	I	3	1129,5	34,6	3822	272,2	4951,0	306,9	11,60	0,71
Aca 304	I	1	1200,0	14,2	5281	189,5	6481,0	175,4	15,20	0,42
Aca 305	I	2	1159,0	26,9	3461	213,6	4620,0	240,4	10,80	0,57
Aca 315	I	1	1188,5	33,2	3258	178,9	4446,0	212,1	10,45	0,49
Aca 601	I	1	1246,5	16,2	3720	166,9	4966,5	150,6	11,65	0,35
Baguette 17	IC	2	1568,0	29,7	5349	41,0	6917,0	70,7	16,20	0,14
Baguette 18	IC	3	1656,0	15,6	5633	21,9	7288,5	37,5	17,05	0,07
Baguette P11	I	2	1353,5	12,0	4453	46,7	5806,5	58,7	13,60	0,14
BIOINTA 1002	I	3	1245,5	16,3	3983	22,6	5228,5	38,9	12,25	0,07
BIOINTA 1005	IC	3	1774,5	37,5	5393	72,1	7167,5	109,6	16,80	0,28
BIOINTA 1006	IC	3	1873,5	27,6	5033	49,5	6906,5	77,0	16,15	0,21
BIOINTA 2004	IC	2	1690,5	14,8	4898	10,6	6588,0	25,5	15,45	0,07
BIOINTA 3000	I	2	1259,5	36,0	3310	14,1	4569,5	50,2	10,70	0,14
BIOINTA 3003	IL	2	1134,0	15,6	3662	39,6	4796,0	24,0	11,25	0,07
BIOINTA 3004	I	3	1171,5	94,0	5261	176,8	6432,5	82,7	15,05	0,21
BIOINTA 3005	IL	3	1153,0	14,1	4500	30,4	5652,5	16,3	13,25	0,07
Buck Malevo	IL	2	1077,5	24,8	4177	153,4	5254,0	178,2	12,30	0,42
Buck Mangrullo	I	2	1140,7	15,6	5186	94,8	6333,0	110,3	14,80	0,28
Buck Meteoro	I	1	1018,0	43,8	3311	19,8	4329,0	63,6	10,10	0,14
Buck Ranquel	IC	1	1568,0	32,5	4640	14,1	6208,0	18,4	14,55	0,07
Buck Taita	IL	2	1285,0	12,7	3872	16,9	5157,0	29,7	12,05	0,07
INIA Tijereta	IL	3	1038,5	57,3	3393	55,1	4431,5	112,4	10,40	0,28
Klein Capricornio	IL	2	1345,5	31,8	3903	45,9	5248,0	14,1	12,30	0,00
Klein Carpincho	IL	3	1670,0	38,2	4916	22,6	6586,0	60,8	15,40	0,14
Klein Gavilan	I	1	1007,5	94,0	3315	56,6	4322,5	150,6	10,95	0,78
Klein Guerrero	IL	3	1403,5	53,0	4070	19,1	5473,0	33,9	12,85	0,07
Klein Pantera	IL	2	1233,0	59,4	3722	33,9	4955,0	25,5	11,60	0,00
Klein Proteo	IC	1	1663,5	21,9	5414	16,9	7077,5	4,9	16,60	0,00
Klein Yará	I	3	1222,5	28,9	4028	55,9	5250,0	26,9	12,25	0,07
LE 2271	I	1	1448,5	23,3	4231	15,6	5679,5	38,9	13,30	0,14
LE 2330	I	2	1486,0	25,5	4609	15,6	6095,0	41,0	14,25	0,07
LE 2333	IC	2	2092,0	53,7	6697	14,1	8789,0	67,9	20,60	0,14
LE 2341	IC	2	2035,0	77,8	6647	17,7	8681,5	95,5	20,35	0,21
SRM Nogal	I	2	1468,5	26,2	4611	14,8	6079,0	41,0	14,25	0,07
THEMIX L	IL	3	1241,0	9,9	3920	84,8	5161,0	94,8	12,05	0,21

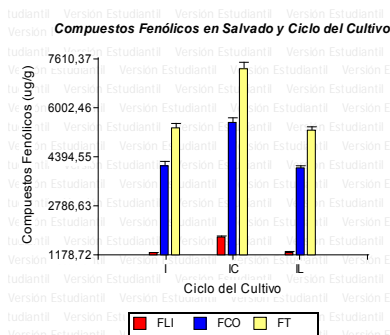


Figura 1. Compuestos fenólicos en salvado y ciclo del cultivo. La altura de las barras representa promedios de los cultivares ensayados en cada ciclo y las líneas truncadas el error estándar (EE). Ciclo: I (intermedio); IC (intermedio corto) e IL (intermedio largo). (Infostat, 2011).

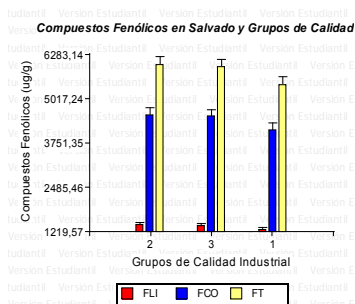


Figura 2. Compuestos fenólicos en salvado y grupos de calidad industrial. La altura de las barras representa promedios de los cultivares ensayados en cada grupo y las líneas truncadas el error estándar (EE). Grupo: 1 (corrector); 2 (fermentación tradicional) y 3 (fermentación rápida).

En un análisis de varianza (ANOVA) correspondiente a las variables de la Figura 1 se observa que existe un efecto significativo ($p < 0,05$) del ciclo del cultivo sobre la proporción de compuestos fenólicos totales. La aplicación de la prueba de Fisher, que produce una DMS = 442, indica que hay diferencias para los cultivares de ciclo IC, bajo esta condición el promedio de FT es 7251,50 µg/g, mientras que para los restantes ciclos (promedios de 5.271,40 µg/g para ciclo IL y 5.349,34 µg/g) no pueden distinguirse estadísticamente el efecto del ciclo sobre los compuestos fenólicos. En un análisis similar, pero remitiendo a la Figura 2, no existe un efecto significativo ($p = 0,2835$). La aplicación de la prueba de Fisher, conduce a un DMS = 672 y establece que los efectos de los grupos sobre los compuestos fenólicos no son estadísticamente diferentes. En cuanto a la AA, el análisis de regresión muestra una dependencia significativa ($p < 0,05$) entre la AA y los FT con un $R^2 = 0,92$ y una correlación lineal muestral, $r = 0,96$; el estadístico $T = 24$, demuestra que esta correlación es estadísticamente significativa ya que resulta ser superior al $t_{crítico}$ de 2,73. Cultivares con mayor proporción de FT muestran mayor AA (Di Rienzo et al. 2008).

Conclusiones

Los FLI, FCO y FT en la fracción salvado de 35 cultivares de trigo muestra un contenido en FCO que es aproximadamente el 75 % de los FT con un promedio general de 5.825 ± 82 µg de GAE/g de salvado y diferencias significativas en la medida de FT en los diferentes ciclos de cultivo, atribuyéndose los cultivares de ciclo intermedio corto las mayores proporciones. No hay

una marcada significación entre los grupos de cultivares y el contenido en compuestos fenólicos. La AA, con un promedio del 13 % es considerable y está en concordancia con otras investigaciones que arrojaron porcentajes similares medidos en las mismas condiciones (Beta et al 2005) y guarda una proporción positiva con los FT.

Agradecimientos

Al INTA Marcos Juárez y en especial al Ing. Agr. Jorge Fraschina quien desinteresadamente envió las 35 muestras de trigo perfectamente identificadas a los Laboratorios de la UTN San Francisco; al Molino Carlos Boero Romano SAIC de San Francisco (Cba) por su colaboración en la molienda de las muestras; a la Dra Gabriela Pérez de la FCA de la UNC por su apoyo incondicional y al grupo de trabajo conformado por las estudiantes becadas, Vanesa Caporali, Emilia Carrillo y Melisa Panero, de la especialidad ingeniería química, que llevaron a cabo la parte experimental participando en este proyecto.

Bibliografía

- AACC International. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th Ed. Method 26-50. The Association: St Paul. MN.
- Abdel-Aal, E. S., Hucl, P., Sosulski, F. W., Graf, R., Gillott, C., and Pietrzak, L. Screening spring wheat for midge resistance in relation to ferulic acid content. *J. Agric. Food Chem.* 49 (2001) 3559-3566.
- Adom, K. K., Sorrells, M. E., and Liu, R. H. Phytochemicals and antioxidant activity of milled fractions of different wheat varieties. *J. Agric. Food Chem.* 53 (2005) 2297-2306.
- Beta, T., Nam, S., Dexter, J. E., and Saperstein, H. D. Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and roller-milled fractions. *Cereal Chem.* 82 (2005) 390-393.
- Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Gonzalez, L.; Tablada, E.; Díaz M.; Robledo, C.; Balzarini, M. 2008. Estadística para las Ciencias Agropecuarias. 7ma Ed. Brujas. Córdoba, Argentina. Di Rienzo, J. A.; Casanoves F., Balzarini M. G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Krygier, K., Sosulski, F., and Hodge, L. Free, esterified, and insoluble-bound phenolic-acids. Extraction and purification procedure. *J. Agric. Food Chem.* 30 (1982) 330-334.
- McCallum, J. A., and Walker, J. R. Proanthocyanidins in wheat bran. *Cereal Chem.* 67 (1997) 282-285.
- Salisbury, F.B and Ross, C. W. 2000. Fisiología de las Plantas 2. Thomson Editores Spain Paraninfo, S.A. Madrid. España. p 486-490.
- Sang, S. M., Ju, J. Y., Lambert, J. D., Lin, Y., Hong, J. G., Bose, M., Wang, S., Bai, N. S., He, K., Reddy, B. S., Ho, C. T., Li, F., and Yang, C. S. Wheat bran oil and its fractions inhibit human colon cancer cell growth and intestinal tumorigenesis in Apc (min/+) mice. *J. Agric. Food Chem.* 54 (2006) 9792-9797.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., and Lamuela-Raventós, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 299 (1999) 152-178.
- Verma, B., Hucl, P. and Clubb, R. Phenolic Content and Antioxidant Properties of Bran in 51 Wheat Cultivars. *Cereal Chem.* 85 (2008) 544-549.
- Wilcox, J. K., Ash, S. L., and Catignani, G. L. Antioxidants and prevention of chronic disease. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 44 (2004) 275-295.
- Zielinski, H., Kosłowska, H. Antioxidant activity and total phenolics in selected cereal grains and their different morphological fractions. *J. Agric. Food Chem.* 48 (2000) 2008-2016.

CARACTERIZACIÓN DE ACEITES ESENCIALES DEL DEPARTAMENTO SAN JUSTO (CÓRDOBA)

Alfonsina E. Andreatta^{1,2*}, María B. Longo¹; Carolina Utrera¹; Matías Saavedra, Gloria Foco³

- 1) UTN Fac. Reg. San Fco. Av. de la Universidad 501, San Francisco, Córdoba. Argentina.
 - 2) IDTQ- Grupo Vinculado PLAPIQUI – CONICET. Av. Vélez Sarsfield 1611, Cba. Argentina.
 - 3) PLAPIQUI-UNS-CONICET- Camino la Carrindanga km 7. Bahía Blanca, Bs. As. Argentina
- *E-mail: aandreatta@plapiqui.edu.ar

Resumen

Los ensayos correspondientes a este trabajo consistieron en la extracción del aceite esencial mediante hidrodestilación a partir de laurel, orégano, peperina, *Eucalipto Globulus*, *Eucalipto Camaldulensis* y limón. Todas estas especies vegetales fueron obtenidas del departamento San Justo de la Provincia de Córdoba. Se estudió el efecto de variables operativas tales como materia prima, temperatura y tiempos de extracción sobre el producto obtenido. Los efectos se cuantificaron a través de los rendimientos de extracción, propiedades físicas, calidad y composición del extracto. De todas las especies estudiadas, el limón y el laurel aportaron el mayor y el menor rendimiento de aceite esencial respectivamente. Los aceites esenciales aquí estudiados no presentan significativas diferencias respecto a los estudios realizados por otros investigadores en las diferentes provincias argentinas. La buena calidad en los aceites esenciales, indican que las tierras del Depto. San Justo de la provincia de Córdoba son aptas para el cultivo de las mismas.

1. Introducción

El reino vegetal es, en efecto, una inagotable fuente de recursos. Las plantas pueden ser consideradas como un eficiente "laboratorio químico" en el que, partiendo de dióxido de carbono y agua como reactivos, se produce por fotosíntesis una enorme variedad de sustancias que concentran la energía solar bajo la forma de enlaces químicos. Si bien la química de los productos naturales renovables ha sido estudiada desde hace ya mucho tiempo, sólo en los últimos años se ha incrementado el interés por el uso prudente de estos recursos como materia prima para la producción de compuestos químicos.

Las distintas familias de compuestos encontrados en las plantas pueden ser usadas directamente después de su extracción y purificación, o pueden ser transformados en otras moléculas con grupos específicos responsables de una propiedad deseable. Estos compuestos son usados en gran variedad de industrias para producir químicos y combustibles, a saber: productos de química fina, jabones, detergentes, surfactantes, emulsificantes, plastificantes, lubricantes, compuestos puros y derivados de etanol, acetaldehído y acetona, metanol, hidrógeno, combustibles y polioles.

En el caso particular de la Provincia de Córdoba, como otras regiones del país, la diversidad de relieves y climas favorece el desarrollo de una gran variedad de especies aromáticas, medicinales y oleaginosas, los que contienen una gran variedad de compuestos naturales. Un buen aprovechamiento de estos recursos, que genere valor agregado a partir de desarrollos tecnológicos, requiere encontrar respuestas factibles, económicas y sustentables a problemas de extracción, separación, purificación, etc. Todos estos procesos están basados en gran medida en el equilibrio de fases que presentan las mezclas involucradas en cada caso.

En este trabajo, se seleccionaron diferentes especies vegetales del departamento San Justo de la provincia de Córdoba para la caracterización de sus aceites esenciales sobre cuyos constituyentes se inició el estudio. Las especies seleccionadas fueron: laurel, orégano, peperina, limón, *Eucalipto Globulus* y *Eucalipto Camaldulensis*.

Hasta hace poco, los aceites esenciales de limón (*Citrus lemon* L.) se estudiaron desde el punto de vista de su sabor y fragancia química para ser utilizado como saborizantes en alimentos y bebidas. Actualmente, los aceites esenciales y sus componentes están adquiriendo un interés creciente debido a su situación relativamente segura, su amplia aceptación por los consumidores, y su explotación para el potencial de usos múltiples^[1]. Al respecto, han sido reportadas propiedades antimicrobianas, antifúngica, antioxidante^[2] para esta especie y sus aceites esenciales.

Con respecto al orégano (*Origanum. Origanum vulgare* L.) no hay estudios realizados sobre su actividad antibacterial; pero si se ha probado su actividad antioxidante^[3]. El contenido de aceite esencial y sus propiedades antioxidantes pueden cambiar dependiendo de los diferentes cultivos, orígenes, estado vegetativo y el período de crecimiento de la planta^[4].

La peperina (*Minthostachys verticillata*) posee gran importancia etnobotánica, farmacológica y comercial debido a los aceites esenciales que se encuentran en las plantas. Se lo utiliza como condimento o infusión en la cocina tradicional pero también es una importante planta medicinal. Sobre la base de esta observación, que recibe cada vez mayor atención por parte de la farmacología y la medicina moderna, las infusiones vegetales y sus aceites esenciales se analizan para determinar efectos farmacológicos^[5]. La composición de su aceite esencial es extremadamente variable de un lugar a otro^[6].

El laurel (*Laurus nobilis* L.) es un árbol de hoja perenne de hasta 20 metros de altura, nativo de la región del Mediterráneo. Es utilizado extensivamente en la industria alimenticia así como en la elaboración de medicamentos y cosméticos. Las hojas secas y su aceite esencial son usados extensivamente en la alimentación como condimento debido a su sabor y aroma y como conservante debido a sus propiedades antimicrobianas e insecticidas^[7-8]. El aceite esencial también es utilizado en medicina para tratar problemas de reumatismo y dermatitis. Además, su alto contenido de ácidos grasos es aprovechado generalmente para la producción de jabones perfumados utilizados para combatir el acné y la caspa^[9-10] y en la fabricación de velas.

El eucalipto (E.), es nativo de Australia, posee hojas perennes, cultivado mundialmente por su aceite, gomas, pasta de papel, madera, medicina y valor estético. Entre los diversos productos madereros y no madereros, el aceite esencial que se encuentra en su follaje es lo más importante y se lo usa ampliamente en la alimentación, la perfumería y la industria farmacéutica. Además, el aceite posee un amplio espectro de actividad biológica como antimicrobiano, fungicida, insecticida/repelente de insectos, herbicida, acaricidas y nematocidas^[11]. El estándar de calidad farmacéutica de aceite de eucalipto, como se define en la mayoría de las normas requiere un nivel mínimo de 70% de eucaliptol^[12]. El *Eucalipto Globulus* satisface estos requerimientos, adquiriendo el nombre vulgarmente de eucalipto medicinal. Sin embargo existen otras especies que también satisfacen estos requerimientos incluso hasta tienen mayor cantidad de eucaliptol que el *E. Globulus*^[13]. En este trabajo se estudiaron dos especies de eucalipto: *E. Globulus* y el *E. Camaldulensis*. El eucalipto se encuentra bastante extendido en la provincia de Córdoba, la mayoría pertenece a la especie *Eucalipto Camaldulensis* y se le puede encontrar fácilmente como ejemplares aislados en numerosos parques y jardines de la capital o pueblos y también en plantaciones masivas, buscando su aprovechamiento maderero.

En la Argentina, la carencia de producción local a escala industrial de aceites esenciales ha llevado a importar estos productos (SAGPYA, 2008)^[14]. Las buenas condiciones climáticas del departamento San Justo (Prov. Córdoba) permitirían un excelente desarrollo de plantaciones de diferentes especies ayudando a contrarrestar la demanda del país. El objetivo de este estudio consistió en analizar la calidad de los aceites esenciales de limón, orégano, peperina, laurel, y eucalipto de esta región geográfica de modo de poder ofrecer otras alternativas de aprovechamiento a estas tierras. Los diferentes aceites esenciales se obtuvieron por el método clásico de hidrodestilación a partir de hojas para las especies de laurel, orégano y peperina; de flores y hojas para la especie *E. Globulus*; de ramas y hojas para la especie de *E. Camaldulensis* y de cáscara para el limón. Se estudió el efecto de variables operativas tales como materia prima,

temperatura y tiempos de extracción sobre el producto obtenido. Los efectos se cuantificaron a través de los rendimientos de extracción, propiedades físicas, calidad y composición del extracto analizado por cromatografía gaseosa con espectrometría de masas. Más allá de sus desventajas, (altos tiempos y alta temperatura de operación) este método clásico de extracción resulta para el agricultor una inversión económicamente factible para el inicio de emprendimientos en la recuperación de los extractos a partir de productos naturales.

2. Procedimiento experimental

Los diferentes aceites esenciales se obtuvieron por el método clásico de hidrodestilación a partir de hojas para las especies de laurel, orégano y peperina; de flores y hojas para la especie *E. Globulus*; de ramas y hojas para la especie de *E. Camaldulensis* y de cáscara para el limón.

Preparación del material: En todos los ensayos experimentales se utilizó material vegetal recolectado del departamento San Justo (Prov. Córdoba), durante los meses de abril a julio de 2011. Luego del lavado de la materia prima, el material fue secado bajo sombra y temperatura ambiente hasta lograr una humedad resultante aproximada del 10 %. Posteriormente el material a extraer fue triturado mediante una picadora multiprocesadora (Moulinex, 750W) operando a velocidad media durante 1 minuto.

Hidrodestilación: La obtención de los diferentes aceites esenciales se realizó mediante un equipo básico de hidrodestilación. La muestra a destilar se preparó mezclando 100 g de material vegetal triturado, con 300 mL de agua destilada. El método consistió en llevar a ebullición la suspensión acuosa del vegetal, condensando los vapores y colectándolos en una ampolla de decantación por períodos de tiempos variables. La temperatura de extracción fue de 100°C y la presión de operación de 1 atm. De varios estudios preliminares se comprobó que 120 minutos fueron suficientes para extraer todo el aceite esencial del material.

Análisis químico: Para la caracterización de los aceites esenciales se utilizó un cromatógrafo gaseoso con un detector por espectrometría de masas GCMS Perkin Elmer Clarus 500 y una columna elite 5 de 60 metros de longitud, 0.25 mm de diámetro interno y 0.25 µm de espesor de film. Las condiciones de operación fueron las siguientes: temperatura del inyector 220°C; caudal de gas carrier (H₂) 1 mL/min; temperatura del detector 150°C; modo scan; energía de ionización 70 eV; volumen inyectado 1 µL; temperatura inicial del horno 70°C (0min) y calentamiento a 4°C/min hasta 240°C (4.50 min).

3. Resultados experimentales

Se analizaron los aceites esenciales obtenidos por hidrodestilación a partir de limón, orégano, peperina, laurel, *E. Globulus* y *E. Camaldulensis*. La tabla 1 resume el material de origen (hojas/flores/ramas/cáscara), la densidad, el rendimiento y las características organolépticas de los productos de extracción obtenidos en cada caso.

Tabla 1. Propiedades físicas de los extractos obtenidos

		Color	Olor	Densidad (g/mL)	Rendimiento (% p/p)
Limón	Cáscara	Amarillo pálido	Característico	0.878	2.935
Orégano	Hojas	Transparente	Característico	n.d	0.647
Peperina	Hojas	Transparente	Característico	0.920	0.730
Laurel	hojas	Amarillo pálido	Característico	0.908	0.396
				0.914 ^{com.}	0.539 ^{com.}
<i>E. Globulus</i>	Hojas	Amarillo pálido	Característico	0.926	1.896
<i>E. Globulus</i>	Flores	Ámbar	Característico	0.849	1.413
<i>E. Camaldulensis</i>	Hojas	Amarillo pálido	Característico	0.924	0.401
<i>E. Camaldulensis</i>	Ramas	Amarillo pálido	Característico	0.898	1.370

com.: producto comercial, n.d. no disponible.

% p/p= g extracto obtenido/ g muestra inicial x 100

La Tabla 2 muestra los resultados de los análisis correspondientes a la técnica utilizada en el análisis químico de los aceites esenciales.

Tabla 2. Composición de los aceites esenciales obtenidos por GC-MS

	% área							
	limón	orégano	peperina	laurel	<i>E. Globulus</i> hojas	<i>E. Globulus</i> flores	<i>E. Camaldulensis</i> hojas	<i>E. Camaldulensis</i> ramas
α-Pineno	1.74	0.53	0.63	2.69	8.18	0.79	2.90	5.04
α-Terpineol	0.47	3.33	0.11	2.44	1.46	3.73	1.58	1.01
β-Pineno	10.07	2.35	0.60	2.23	0.14		1.73	0.33
Limoneno	68.68	10.01	1.66	1.78			1.65	
Mirceno	1.37	0.38	0.09					
Terpinoleno	0.77	1.72		0.25	0.05	1.09	0.11	0.31
α-Felandreno	0.02	0.11			0.18	0.15	0.14	4.43
γ-Terpineno	10.41	16.23		0.27	0.18		0.92	4.14
Terpinen- 4-ol	0.45	28.32		2.36				1.13
β-cariofileno	0.15	0.53			0.09			
α-Citral	1.20							
Camfeno	1.67		0.04	0.33	0.06			
β-citral	0.78							
Cis geraniol	0.34		0.34		0.01		0.90	0.19
Linalol	0.18	3.50		7.54			1.86	
β-cis-Ocimeno	0.17							3.90
p-Cimeno		4.55	0.10			9.86	16.80	
Eucaliptol		0.65	2.56	54.77	84.11	53.15	43.28	71.42
Sabineno hidrato		6.53		0.62				
1-Octen-3-il-acetato		1.31						
Timol metil eter		3.56						
Timol		14.96					0.70	
Carvacrol		0.33		0.72		1.73		
Mentona			79.46					
Isomentona			2.09					
Pulegona			10.20					
Piperitona			0.98					
Sabineno			0.36	4.20				
m-Cimeno				1.56				
γ-terpineno				1.12				
Terpinil acetato				14.40		0.89		4.10
α-Terpineol acetato					4.51		2.03	1.00
Criptol						5.53	8.03	
Globulol						9.26	1.10	0.59
Cariofileno óxido						2.88	3.31	
Espatulenol						4.49		
Cuminal							3.09	
Spatulenol							5.73	
Comp. minoritarios	1.53	1.43	0.78	2.72	1.03	6.45	4.14	2.41

Del análisis de la Tabla 2 se puede observar que el α-pineno y el α-terpineol están presentes en todas las especies estudiadas. En el aceite esencial de limón, el limoneno es el componente mayoritario y posee apreciables cantidades de β-pineno, terpineno y menor cantidad de compuestos oxigenados. El aceite esencial de orégano está caracterizado por γ-terpineno, limoneno, terpinen-4-ol, sabineno hidrato, p-cimeno y timol. Mentona y pulegona son los componentes mayoritarios encontrados en las especies de peperina estudiadas en este trabajo mientras que eucaliptol, terpinil acetato y linalol son los componentes mayoritarios del aceite esencial de laurel. Respecto a las dos diferentes especies estudiadas de eucalipto, el eucaliptol es el componente mayoritario. Lo que diferencia una especie de otra es la cantidad de este compuesto, siendo mayor en el *E. Globulus* y este conteniendo su mayor cantidad en las hojas que en las flores.

Respecto a publicaciones previas de las especies estudiadas en este trabajo, tenemos que Di Leo Lira y col.^[15] reportaron composiciones de los aceites esenciales del laurel obtenidos por hidrodestilación de las provincias argentinas de Tucumán y Buenos Aires; mientras que

Dambolena y col. [16] presentaron resultados de los aceites esenciales del orégano de las provincias de San Juan, Mendoza y La Pampa. Por su parte Zygodlo y col. [6] reportaron las composiciones del aceite esencial de la peperina de las provincias de Catamarca, Córdoba y Tucumán. Los aceites esenciales aquí estudiados no presentan significativas diferencias respecto a los estudios realizados por otros investigadores en las diferentes provincias argentinas.

4. Conclusiones

En este trabajo se reportan los resultados de extracciones de aceites esenciales de limón, orégano, peperina, laurel, *E. Globulus* y *E. Camaldulensis* mediante hidrodestilación a presión atmosférica. De todas las especies estudiadas, el limón y el laurel aportaron el mayor y el menor rendimiento de aceite esencial respectivamente. Respecto a las dos diferentes especies estudiadas de eucalipto, el eucalipto es el componente mayoritario. Lo que diferencia una especie de otra es la cantidad de este compuesto, siendo mayor en el *E. Globulus* y este conteniendo su mayor cantidad en las hojas que en las flores.

Los aceites esenciales aquí estudiados no presentan significativas diferencias respecto a los estudios realizados por otros investigadores en las diferentes provincias argentinas. Por lo tanto, las especies estudiadas muestran buena calidad en sus aceites esenciales, indicando que las tierras del Depto. San Justo de la provincia de Córdoba son aptas para el cultivo de las mismas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a CONICET, Universidad Tecnológica Nacional, Universidad Nacional del Sur y Universidad Nacional de Córdoba por la ayuda económica recibida.

Referencias

- [1] Di Vaio, C.; Graziani, G.; Gaspari, A.; Scaglione, G.; Nocerino, S.; Ritieni, A. Essential oils content and antioxidant properties of peel ethanol extract in 18 lemon cultivars. *Scientia Horticulturae*. **2010**, 126, 50-55.
- [2] Hirasa, K.; Takemasa, M. *Spice science and technology*. New York. **1998**.
- [3] Hazzit, M.; Baaliouamer, A.; Faleiro, M.L.; Miguel, M.G. Composition of the Essential Oils of Thymus and Origanum Species from Algeria and Their Antioxidant and Antimicrobial Activities. *J. Agric. Food Chem.* **2006**, 54, 6314-6321.
- [4] Dambolena, J.S.; Zunino, M.a.P.; Lucini, E.I.; Olmedo, R.n.; Banchio, E.; Bima, P.J.; Zygodlo, J.A. Total Phenolic Content, Radical Scavenging Properties, and Essential Oil Composition of Origanum Species from Different Populations. *J. Agric. Food Chem.* **2009**, 58, 1115-1120.
- [5] Schmidt-Lebuhn, A.N. Ethnobotany, biochemistry and pharmacology of *Minthostachys* (Lamiaceae). *Journal of Ethnopharmacology*. **2008**, 118, 343-353.
- [6] Zygodlo, J.A.; Maestri, D.M.; Lamarque, A.L.; Guzmán, C.A.; Velasco-Negueruela, A.; Pérez-Alonso, M.J.; García-Vallejos, M.C.; Grosso, N.R. Essential oil variability of *Minthostachys verticillata*. *Biochemical Systematics and Ecology*. **1996**, 24, 319-323.
- [7] Hammer, K.A.; Carson, C.F.; Riley, T.V. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*. **1999**, 86, 985-990.
- [8] Saim, N.; Meloan, C.E. Compounds from leaves of bay (*Laurus nobilis* L.) as repellents for *Tribolium castaneum* (Herbst) when added to wheat flour. *J. Stored Products Res.* **1986**, 22, 141-144.
- [9] Hafizoglu, H.; Reunanen, M. Studies on the Components of *Laurus nobilis* from Turkey with Special Reference to Laurel Berry Fat. *Lipid / Fett*. **1993**, 95, 304-308.
- [10] Fenaroli, G.; Furia, T.E.; Bellanca, N. *Handbook of flavor ingredients*. **1975**.
- [11] Batish, D.R.; Singh, H.P.; Kohli, R.K.; Kaur, S. Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecology and Management*. **2008**, 256, 2166-2174.
- [12] Barton, A.F.M.; Tjandra, J.; Nicholas, P.G. Chemical evaluation of volatile oils in *Eucalyptus* species. *J. Agric. Food Chem.* **1989**, 37, 1253-1257.

- [13] Tompkins, P.W. Notes on the Eucalyptus Oil Industry of California. *Ind. Eng. Chem.* **1915**, 7, 995-997.
- [14] SAGPYA, www.sagpya.mecon.gov.ar. **2008**.
- [15] Di Leo Lira, P.; Retta, D.; Tkacik, E.; Ringuelet, J.; Coussio, J.D.; van Baren, C.; Bandoni, A.L. Essential oil and by-products of distillation of bay leaves (*Laurus nobilis* L.) from Argentina. *Industrial Crops and Products*. **2009**, 30, 259-264.
- [16] Dambolena, J.S.; Zunino, M.a.P.; Lucini, E.I.; Olmedo, R.n.; Banchio, E.; Bima, P.J.; Zygadlo, J.A. Total Phenolic Content, Radical Scavenging Properties, and Essential Oil Composition of *Origanum* Species from Different Populations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **2009**, 58, 1115-1120.

SOFTWARE DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA DEL MÉTODO DE LA RIGIDEZ EN INGENIERÍA MECÁNICA

Stratta Lucas, Jalil Jeremías, Tais Carlos

Departamento de Ingeniería Mecánica
Facultad Regional Villa María. Universidad Tecnológica Nacional
Avda. Universidad 450, (5900) Villa María, Córdoba
E-mail: mecanica@frvm.utn.edu.ar, web: www.frvn.utn.edu.ar

Resumen. *El Análisis Estructural es la parte del proceso de proyecto que comprende el diseño, cálculo y comprobación de la estructura. Es esta una disciplina técnica y científica que permite establecer las condiciones de idoneidad de la estructura, respecto a su cometido o finalidad. Por tanto, tiene establecido su objeto en la estructura y su finalidad en el cálculo como comprobación de lo diseñado. Los Métodos de Compatibilidad y Equilibrio, desarrollados durante el siglo XIX y XX fueron sucesivamente desplazados a partir de la disponibilidad de herramientas informáticas. La característica principal de estos métodos es la de requerir una gran cantidad de cálculos sistemáticos por lo que su aplicación manual es casi prohibitiva. Son por lo tanto, adecuados para analizar estructuras complejas permitiendo focalizar el esfuerzo en el análisis e interpretación de resultados y no en los pormenores del cálculo en sí. En el presente trabajo se presentan las experiencias obtenidas durante el proyecto de desarrollo e implementación para la enseñanza del Método de la Rigidez de un programa de características didácticas que, funciona en el ambiente MATLAB, con capacidad para la resolución de estructuras de barras (reticulados y pórticos) y su incorporación a los trabajos prácticos que se lleva a cabo en la cátedra de Estabilidad II de la Facultad Regional Villa María de la UTN. Se mencionan también los avances en el desarrollo de una herramienta similar para la enseñanza del Método de los Elementos Finitos.*

Palabras clave: *Método rigidez, enseñanza análisis estructural, MATLAB*

1. INTRODUCCIÓN

El Método de la Rigidez, también llamado Método de los Desplazamientos, consiste en la determinación de corrimientos de los nudos y esfuerzos en las barras de una estructura de barras.

Se basa en un análisis matricial y puede usarse en estructuras estáticamente determinadas o indeterminadas tanto planas como tridimensionales.

La aplicación del Método de la Rigidez requiere subdividir la estructura en una serie de elementos (BARRAS) e identificar sus puntos extremos (NUDOS). Se determinan las propiedades de fuerza y desplazamiento de cada elemento. Luego, éstas se relacionan entre sí mediante las ecuaciones de equilibrio planteado a los nudos [1].

Estas relaciones se agrupan en la matriz de rigidez $[K]$ de la estructura. Una vez establecidas, los corrimientos desconocidos de los nudos, pueden determinarse para cualquier estado de carga sobre la estructura. Cuando se conocen esos desplazamientos, los esfuerzos internos de cada barra pueden determinarse mediante las ecuaciones de fuerza movimiento para cada miembro.

Los grados de libertad no restringidos representan las incógnitas principales en el Método de la Rigidez, en el caso de reticulados planos a nudos rígidos, cada nudo posee tres grados de libertad o sea dos desplazamientos y un giro, es de destacar que para el caso de los reticulados a nudo articulado, todos los giros son nulos, por lo que quedan solo dos grados de libertad a considerar. En una estructura hay que distinguir que hay grados de libertad restringidos o conocidos, y grados de libertad no restringidos o incógnitas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Matriz de rigidez global de una barra a nudos articulados

La matriz de rigidez global [k] de una barra de reticulado plano, con cualquier dirección, propiedades geométricas y materiales ya definidas responde a [2]:

$$[k] = [T^T][k'][T] \quad (1)$$

Donde [T] es la matriz de transformación, que transforma los desplazamientos globales de cada barra en desplazamientos locales. La matriz [k'] es la matriz de rigidez de la barra y es de la misma forma para cada una en la estructura. Los cuatro elementos que la conforman se denominan coeficientes de influencia de rigidez de la barra [k]ij. Físicamente, representan la fuerza en el nudo i cuando se impone un desplazamiento unitario solo en el nudo j. Desarrollando la (1):

$$[k] = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ \lambda_2 & 0 \\ 0 & \lambda_1 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 & \lambda_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_1 & \lambda_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.2. Matriz de rigidez de la estructura

Una vez que todas las matrices de rigidez de miembro se han expresado en coordenadas globales, resulta necesario ensamblarlas en el orden apropiado para poder encontrar la matriz de rigidez [K] de la estructura (2). La matriz de rigidez tendrá dimensiones igual al número de grados de libertad total para la estructura.

Para el ensamblado de la matriz de rigidez de la estructura, se le designan números, correspondiente a los nudos iniciales y finales de la barra, a las filas y columnas a la (2), desarrollándola matricialmente y numerándola queda de la siguiente manera:

$$[k] = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} Nix & Niy & Nfx & Nfy & \\ \lambda_1^2 & \lambda_1 \lambda_2 & -\lambda_2^2 & -\lambda_1 \lambda_2 & Nix \\ \lambda_1 \lambda_2 & \lambda_2^2 & -\lambda_1 \lambda_2 & -\lambda_2^2 & Niy \\ -\lambda_2^2 & -\lambda_1 \lambda_2 & \lambda_1^2 & \lambda_1 \lambda_2 & Nfx \\ -\lambda_1 \lambda_2 & -\lambda_2^2 & \lambda_1 \lambda_2 & \lambda_2^2 & Nfy \end{bmatrix} \quad (3)$$

Cuando se ensamblan las matrices [k], se coloca en su misma designación de fila y columna en la matriz [K]. Cuando dos o más barras comparten un mismo nudo, algunos elementos de cada una de las matrices [k] se le asignara la misma posición dentro de la matriz [K], cuando sucede esto, dichos elementos deben sumarse entre sí algebraicamente para obtener la rigidez global en cada nudo.

2.3. Método de resolución

Una vez que se ha formado la matriz de rigidez de la estructura, podemos usarla para determinar los desplazamientos de los nudos, las reacciones externas y las fuerzas internas en los miembros, utilizando la expresión:

$$Q = KD \quad (4)$$

Donde {Q}, es el vector de cargas y {D}, el vector de desplazamientos.

Armando la matriz (4), la determinación de los desplazamientos se lleva al cabo, haciendo el producto de la inversa de la matriz [K] por el vector de cargas {Q} quedando:

$$\begin{bmatrix} D_{u_i} \\ \dots \\ D_{k_j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ \dots & \dots \\ K_{21} & K_{12} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Q_k \\ \dots \\ Q_u \end{bmatrix} \quad (5)$$

De esta ecuación podemos obtener una solución directa para todos los desplazamientos desconocidos de la estructura.

2.4. Matriz de rigidez global para reticulados a nudos rígidos y pórticos

De igual manera que para el caso de reticulados a nudo articulado, la matriz general responde a la expresión (1), dando como resultado:

$$k = \begin{matrix} & N_{ix} & N_{iy} & N_{iz} & N_{fx} & N_{fy} & N_{fz} \\ \begin{bmatrix} \left(\frac{AE}{L} \lambda_x^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda_y^2 \right) & \left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right) \lambda_x \lambda_y & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_x & -\left(\frac{AE}{L} \lambda_x^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda_y^2 \right) & -\left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right) \lambda_x \lambda_y & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_x & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_y \\ \left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right) \lambda_x \lambda_y & \left(\frac{AE}{L} \lambda_x^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda_y^2 \right) & -\frac{6EI}{L^2} & -\left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right) \lambda_x \lambda_y & -\left(\frac{AE}{L} \lambda_y^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda_x^2 \right) & \frac{6EI}{L^2} \lambda_x & \frac{6EI}{L^2} \lambda_y \\ -\frac{6EI}{L^2} \lambda_y & \frac{6EI}{L^2} \lambda_x & \frac{4EI}{L} & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_x & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_y & \frac{6EI}{L^2} \lambda_x & \frac{2EI}{L} \\ -\left(\frac{AE}{L} \lambda_x^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda_y^2 \right) & -\left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right) \lambda_x \lambda_y & \frac{6EI}{L^2} & \left(\frac{AE}{L} \lambda_x^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda_y^2 \right) & \left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right) \lambda_x \lambda_y & \frac{6EI}{L^2} \lambda_x & \frac{6EI}{L^2} \lambda_y \\ -\left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right) \lambda_x \lambda_y & -\left(\frac{AE}{L} \lambda_y^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda_x^2 \right) & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_x & \left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right) \lambda_x \lambda_y & \left(\frac{AE}{L} \lambda_y^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda_x^2 \right) & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_x & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_y \\ -\frac{6EI}{L^2} \lambda_x & \frac{6EI}{L^2} \lambda_y & \frac{2EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} \lambda_y & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_x & \frac{4EI}{L} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (6)$$

La matriz de 6 x 6 es simétrica. La posición de cada elemento está localizada por los números de código del nudo inicial y final que se muestran en la parte superior y lateral de la matriz.

2.5. Matriz de rigidez de la estructura

Una vez que se han encontrado todas las matrices de rigidez de los miembros, se procede al armado de la matriz de rigidez de la estructura completa. El orden de la matriz [K] es igual al número de nudos de la estructura y para el ensamblado, en cada posición de la matriz deben colocarse los elementos de la barra que tengan el mismo número de posición que la matriz general, y las barras que posean los mismos números de posición deben sumarse algebraicamente en la matriz general. Con la matriz general se procede de la misma forma que en el caso de reticulados a nudos articulados, teniendo en cuenta que cada nudo tiene tres grados de libertad (dos corrimientos y un giro) que representan las incógnitas del problema. Una vez encontrados estos se pueden determinar los esfuerzos característicos de cada barra.

3. DESARROLLO DEL SOFTWARE

3.1 Lenguaje de programación

El lenguaje de programación MATLAB [3] es útil para la programación del Método de la Rigidez, debido al hecho de que permite una gran agilidad de programación y posee una amplia biblioteca de funciones matemáticas y algebraicas predefinidas, lo que permite que la programación se centre en resolver el método, y no a desarrollar funciones de cálculo numérico [4]. Un simple programa de dos dimensiones para el cálculo de un reticulado solo necesita unos cuantos cientos de líneas de código en

MATLAB, mientras que en otras interfaces como C++, Visual Basic, o Fortran, podrían requerir unas cuantas miles.

El programa desarrollado, denominado MRig, cuenta con tres bloques principales: el primero es el código que calcula los reticulados a nudo articulado. El segundo es el código que calcula reticulados a nudo rígido y pórticos, y por último el tercero es la interfaz grafica. Los dos primeros bloques consisten en líneas de pseudocódigo que respetan la siguiente estructura:

- Ingreso de datos.
- Calculo de rigidez.
- Armado de matriz de rigidez de cada barra.
- Armado de matriz de desplazamientos y fuerzas conocidos.
- Ensamblado de matriz general.
- Generación de la matriz condensada.
- Calculo de los corrimientos.
- Calculo de las reacciones en los vínculos.
- Calculo de las tenciones y esfuerzos en cada barra.
- Exposición de resultados.
- Graficación de la estructura, deformación (en el caso de los reticulados a nudo articulado), fuerzas, reacciones, y momentos (en caso de pórticos y reticulados de nudo rígido).

El tercer bloque, la interfaz grafica [5], solo tiene el objetivo de facilitar al usuario el ingreso de los datos, y una cómoda visualización de los resultados.

1. Ventana de inicio: mostrada en la Figura 1, donde se muestran las dos opciones de cálculo, la de reticulados a nudo articulado, de pórtico y reticulados a nudo rígido.



Figura 1. Ventana de inicio, programa MRig

2. Ventana de resultados: mostrada en la Figura 2 y 3, donde se muestran los resultados del cálculo, y el grafico que representa la estructura. Desde esta ventana se pueden acceder a las diferentes opciones de ingreso de datos y a la visualización de la matriz general de rigidez.



Figura 2. Ventana de resultados para el cálculo de reticulados a nudo articulado.

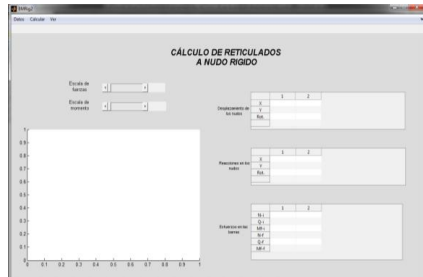


Figura 3. Ventana de resultados para el cálculo de pórticos, y reticulados a nudo rígido.

3. Ingreso de datos: representadas en la Figura 4 y 5. Esta sección se accede a través del menú Datos-Ingresar Nuevos, dentro de la ventana de resultados. Acá es donde se introducen las condiciones iniciales del cálculo. El ingreso de datos es a través de una tabla similar a la generada cuando se comienza un cálculo manual, logrando que el llenado de las tablas sea intuitivo. También es posible generar archivos en formato texto, en donde se graban los valores introducidos en las tablas. Esta posibilidad es importante si se quiere guardar el ejercicio para un posterior cálculo, o revisión.

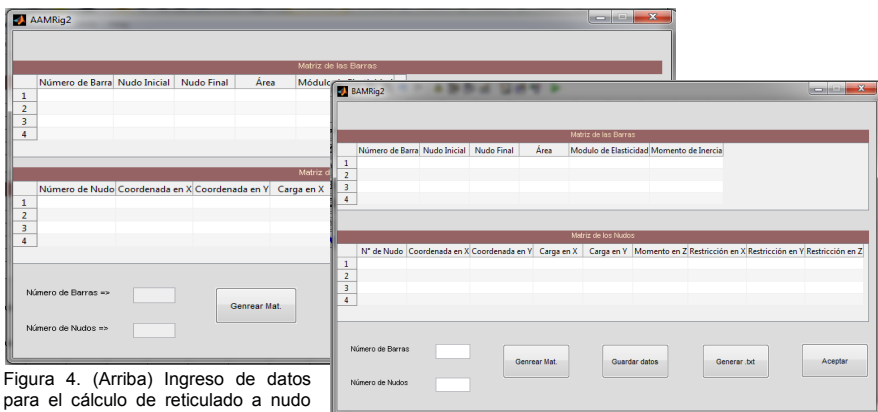


Figura 4. (Arriba) Ingreso de datos para el cálculo de reticulado a nudo articulado y reticulado a nudo rígido (Derecha)

4. Matriz de rigidez: esta ventana, mostrada en la Figura 5, muestra la matriz general de rigidez de la estructura, y la distribución de ésta.

5. Graficación de esfuerzos: En esta sección, solo disponible en el cálculo de reticulados a nudos rígidos y pórticos, se grafican los esfuerzos de flexión, normales y de corte actuante en la barra. Esta ventana se muestra en la Figura 5

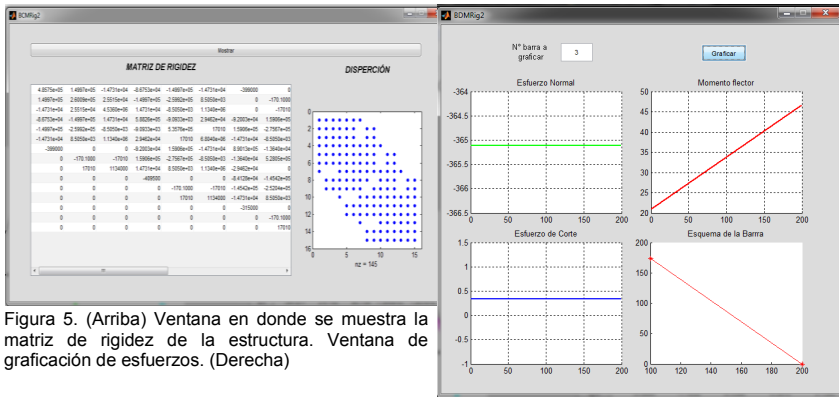


Figura 5. (Arriba) Ventana en donde se muestra la matriz de rigidez de la estructura. Ventana de graficación de esfuerzos. (Derecha)

4. RESULTADOS

Para verificar los resultados que presenta el programa desarrollado se compararon los resultados con otro software comercial.

La comparación consistió en la resolución con MRig de un problema de reticulado a nudo articulado y uno de reticulado a nudo rígido, comparando con los resultados obtenidos mediante el software Analysis for Windows [6] para los mismos problemas.

Se obtuvieron las siguientes discrepancias: Mrig difieren en un 5.58% para el cálculo del reticulado a nudos articulado y del 2.56% para el de nudos rígidos.

5. CONCLUSIONES

El empleo del enfoque matricial presenta dos ventajas en el cálculo de estructuras.

Desde el punto de vista teórico, permite utilizar métodos generales de cálculo en forma compacta, precisa que determina una base muy conveniente y ordenada para el desarrollo de programas de computación.

Con el avanzado desarrollo computacional en los últimos años, combinados con los resultados de las estudios del análisis matricial de estructuras, hoy se hace posible la realización de este trabajo en donde se expuso un software didáctico para el cálculo de estructuras plana mediante el uso del método de la rigidez que permite la complementación teórica del tema durante su exposición.

REFERENCIAS

- [1] Hibbeler R. C., Structural Analysis 7Ed., Pearson Prentice Hall , (2009).
- [2] Cervera Ruiz M., Blanco Diaz E., Mecánica de estructuras. Métodos de análisis., Ediciones UPC, vol 2. (2004).
- [3] MathWorks Inc., MATLAB User Guide, MathWorks. (2010).
- [4] Yang W. Y., Cao W., Chung T. S. y Morris J., Applied Numerical Methods Using MATLAB, John Wiley & Sons. (2005).
- [5] MathWorks Inc., MATLAB GUIDE Graphical User Interface Development Environment, MathWorks. (2010).
- [6] <http://www.cuylaerts.net/>, Analysis for Windows, (2011).

“ANÁLISIS CUANTITATIVO DE COEFICIENTES DE ARRASTRE Y SUSTENTACIÓN USANDO EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS”

Autor: **Rosso Santiago**. Legajo UTN 7684.

Contacto: sanr_22@hotmail.com - UTN FRVM – Av. Universidad 450 Villa María. Cba.
Tutor: Ing. Huber G. Fernández – Depto. Ing. Mecánica. Laboratorio mecánica de fluidos.

Palabras claves

Coefficiente de arrastre; sustentación; elementos finitos; aerodinámica.

Resumen

Las características aerodinámicas de los cuerpos como así también el comportamiento de un determinado fluido alrededor de aquellos, pueden estudiarse ya sea por vía experimental con el uso de un túnel de viento de laboratorio adaptado a las condiciones que se necesitan imponer, como hace años se viene realizando, también existe una alternativa que es el uso de herramientas informáticas que permiten modelar objetos y simular un flujo fluido bajo determinadas condiciones, o con ambas herramientas de manera conjunta. El uso integrado de estas permite realizar estudios más taxativos y complejos reduciendo tiempos y economizando los costos de los proyectos.

El presente trabajo tiene como cometido centrar el estudio en los coeficientes de arrastre y de sustentación) que manifiestan diferentes objetos (perfiles alares, cilindro, esfera, etc.), con el uso de una herramienta informática, “Solid Works Flow Simulation 2010”, que posibilita la generación de modelos y la simulación del flujo fluido que se produce en sus alrededores para determinadas condiciones impuestas. Dicho software cimienta su funcionamiento en el método de los elementos finitos “MEF” y posibilita conocer diferentes variables aerodinámicas útiles.

Una vez determinadas las características aerodinámicas de los cuerpos (se propone generar datos con el propósito de contrastar los valores obtenidos por tales vías informáticas con aquellos extraídos de la bibliografía y de publicaciones existentes, originadas en sendos trabajos de laboratorio u obtenidos con el uso de herramientas empíricas, intentando de este modo demostrar las aptitudes del método informático utilizado.

Introducción

Conocer y comprender el comportamiento aerodinámico de diferentes objetos es de suma importancia, ya que la interacción que se manifiesta entre el aire, u otro fluido en cuestión y los objetos o cuerpos, genera fuerzas que se materializan en estos últimos, y eventualmente pueden producir efectos dinámicos diversos, como lo es la resistencia aerodinámica al avance que es la causa principal del consumo de combustible en distinto tipo de vehículos, o como el que se manifiesta en el vuelo de los aviones que se debe a una fuerza, denominada fuerza de sustentación, que en sucintas palabras, es la resultante de una diferencia de presión aplicada sobre un área definida, entre las superficies superior (extradós) e inferior (intradós) del ala de un aeroplano.

Como se explicó con anterioridad, la importancia de este tipo de trabajos radica en utilizar un software de cálculo que permite generar modelos y simular las características de flujo que se generan en sus alrededores; taxativamente los objetivos de este en particular son: determinar la variación del coeficiente aerodinámico de arrastre de un cilindro en función del número de Reynolds; analizar un perfil de ala NACA 0012 (NACA - National Advisory Committee of Aeronautics), con el objeto de conocer, para un determinado número de Reynolds, la variación tanto del coeficiente aerodinámico de arrastre como el de sustentación en función del ángulo de

incidencia del perfil alar. En todos los casos, se analizan las fuerzas creadas solo por los gradientes de presión y se hace caso omiso de las fuerzas de fricción.

Desarrollo

Con el objeto de explicar de manera ordenada la secuencia que se necesita para generar cada una de las simulaciones, se proponen los siguientes pasos: Definición del modelo a estudiar; Tipo de flujo y fluido; Imposición de las condiciones iniciales; Mallado del dominio; Análisis de resultados de la simulación.

Definición del modelo a estudiar

En esta etapa se definen cada uno de los modelos que luego se utilizan en etapas posteriores para la simulación. Las figura N°1 y N°2, muestran las dimensiones características de cada uno de ellos. Como se puede observar, todos ellos son modelos tridimensionales. El perfil de ala NACA 0012, se trazó bajo las coordenadas que se explicitan en bibliografía específica [1].

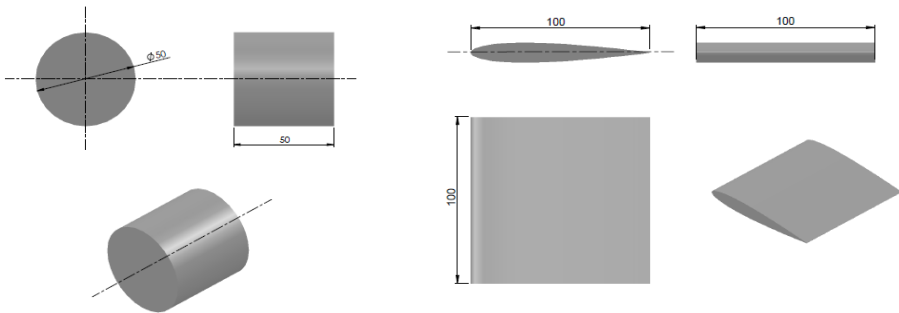


Figura N°1–Modelo cilíndrico para simulación Figura N°2–Modelo NACA 0012 para simulación

Tipo de flujo y de fluido

En lo pertinente al tipo de flujo fluido que se desarrolla en los alrededores de los modelos es necesario aclarar que, para todos los casos, se supone que el fluido que interactúa con los objetos es aire y sus características (densidad ρ y viscosidad dinámica μ), se toman a presión atmosférica y temperatura ambiente como condiciones iniciales (laboratorio), luego el software autoajusta el rango para las condiciones geométricas y de velocidad impuestas para los perfiles. El análisis se realiza en régimen estacionario para todas las simulaciones. Se considera flujo subsónico e incompresible. La hipotética incompresibilidad del aire, que se adopta con el objeto de evitar considerar la variación de la densidad con la presión, es justificable ya que, se puede considerar un flujo incompresible hasta diferencias de presión que no excedan valores próximos al metro de columna de agua, esto es 0.1 atmósferas [2],[3],[4]. Las propiedades iniciales del aire (laboratorio) adoptadas para el cálculo son: $\rho=1.204 \text{ Kg/m}^3$; $\mu=1.825 \times 10^{-5} \text{ Kg/m.s}$.

Imposición de condiciones iniciales

Para cada una de las simulaciones se supone que el fluido ingresa al dominio computacional con una velocidad, denominada velocidad de flujo no perturbado, que depende del número de Reynolds para cada simulación y de la forma del objeto que se desea modelar. Como se expresó en la parte introductoria del trabajo, una de las finalidades que se persigue es generar datos cuyos valores puedan ser reproducidos con el equipamiento del cual se dispone en el laboratorio de la Universidad Tecnológica Nacional FRVM; por tal propósito, las velocidades de flujo no perturbado deben corresponder a valores exequibles y para este caso, con fines didácticos.

Por definición, el número de Reynolds es [2],[5],[6]:

$$Re = \frac{\rho * V * L}{\mu} \quad (1)$$

Donde los términos representan: μ = Viscosidad dinámica del fluido, ρ = Densidad del fluido, V = Velocidad de flujo y L = Dimensión característica del modelo.

Como condición para cada simulación, el software exige una expresión de la velocidad de entrada al dominio computacional. Para el caso particular del modelo cilíndrico, dicha velocidad es variable en cada simulación ya que, es variable el número de Reynolds. Por lo tanto, la ecuación (1) para el modelo cilíndrico es [2],[5],[6]:

$$V = \frac{\mu * Re}{\rho * D} \quad (2)$$

En la ecuación (2), D es el diámetro del cilindro, que es su dimensión característica; es menester aclarar que para grandes valores del número de Reynolds, se hace necesario incrementar el diámetro del cilindro ya que, de no hacerlo, la velocidad alcanza valores que desvirtúan la suposición de flujo incompresible. Para el perfil alar, la ecuación es análoga a la anterior, la diferencia radica en sustituir el diámetro por la longitud de la cuerda de cada perfil.

Como la finalidad del presente trabajo es evaluar coeficientes aerodinámicos, tanto de arrastre como de sustentación, se hace uso de las aptitudes del software para encontrar de manera directa dichos valores sin la necesidad de realizar cálculos manuales. En otras palabras, el software permite cargar relaciones matemáticas entre variables y una vez ejecutada la simulación, encuentra valores numéricos para dichas variables. En este caso, las ecuaciones que se necesitan cargar son el coeficiente de arrastre C_d y el coeficiente de sustentación C_L , o sea [2],[5],[6]:

$$C_d = \frac{F_a}{\frac{1}{2} * \rho * V^2 * A_d} ; C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} * \rho * V^2 * A_L}$$

Donde los términos representan: F_a = Fuerza de arrastre, F_L = Fuerza de sustentación, ρ = Densidad del fluido involucrado, V = Velocidad de flujo no perturbado, A_d = Área expuesta a la fuerza de arrastre, A_L = Área expuesta a la fuerza de sustentación.

Mallado del dominio computacional.

Para ejecutar cada una de las simulaciones, es menester generar el mallado del dominio computacional. Con el objeto de reducir tiempos de simulación, solo se analizan modelos bidimensionales es decir, se hace caso omiso de efectos tridimensionales que puedan manifestarse en los extremos de cada modelo. Para todas las simulaciones, las dimensiones del dominio computacional, se adoptan en función de las dimensiones del modelo a estudiar [7], [8], [9], [10].

La malla se generó utilizando un tipo de elementos finitos bidimensionales cuadriláteros (rectángulos) con sesgo cero, la interpolación fue de segundo orden, resultando finalmente 2624 elementos de malla. La densidad del mallado se aumentó en las regiones próximas a la periferia de los modelos de estudio (con el objeto de lograr valores más precisos) y se redujo en las regiones alejadas de los mismos, donde el flujo no es demasiado perturbado por el modelo de estudio.

Análisis de los resultados obtenidos por simulación para el modelo cilíndrico.

Para el modelo cilíndrico se obtiene la variación del coeficiente de arrastre en función del número de Reynolds. Con el objeto de contar con una buena cantidad de valores y así confeccionar una curva, se han realizado diez simulaciones con variaciones del valor del número de Reynolds desde 1, que supone un flujo enteramente laminar, a 1.000.000, lo que manifiesta un flujo turbulento enteramente desarrollado.

La tabla N°1 muestra los valores del coeficiente de arrastre del modelo cilíndrico, como así también la fuerza de arrastre, para diferentes valores del número de Reynolds, extraídos desde la fuente informática.

Tabla N°1 – Coeficientes y fuerzas de arrastre para cilindro ϕ 50 mm

CILINDRO ϕ 50 mm			CILINDRO ϕ 50 mm		
Re	C_d	F_a [N]	Re	C_d	F_a [N]
1	12,312384	3,41E-10	50000	1,041570312	0,072032394
500	1,191112461	8,23744E-06	100000	0,720434633	0,199293821
1000	1,037913518	2,87E-05	250000	0,592774404	1,024869835
5000	0,789658054	0,000546108	500000	0,261423861	1,807941958
10000	1,228418859	0,003398175	1000000	0,269502392	1,97228683

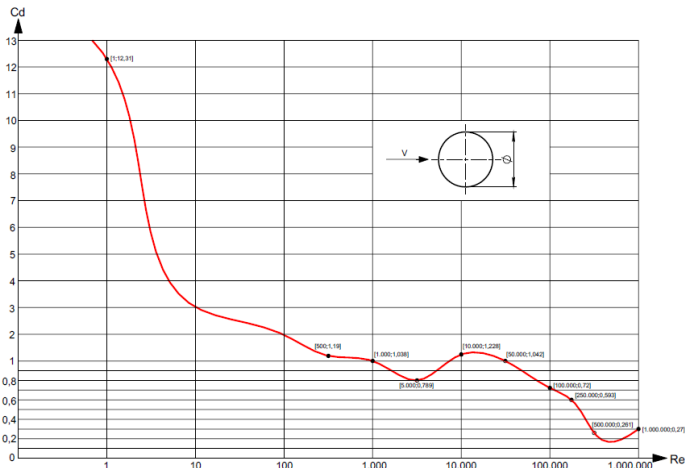


Figura N°3 – Variación del coeficiente aerodinámico de arrastre **Cd** vs. **Re** para cilindro $\phi 50$

Los valores del coeficiente de arrastre de la tabla N°1 se han graficado en la figura N°3, en la cual se manifiesta claramente la variación de este último con el número de Reynolds. Como se observa, el coeficiente de arrastre toma valores importantes para flujos laminares, luego decae y entre 500 y 50.000 de Re permanece prácticamente constante con un coeficiente de aproximadamente $C_d=1$; Luego decrece nuevamente y se manifiesta un codo característico aproximadamente para $Re = 750.000$. Si se comparan estos valores con los expuestos por bibliografías especializadas [2], [5], [11], se encuentran resultados muy compatibles. Las eventuales diferencias que pudieran existir entre estos valores y los obtenidos de manera empírica en túneles de viento, radican en efectos de borde que se producen en los extremos de los modelos y no se consideran en las simulaciones computarizadas en dos dimensiones como la que se ha ejecutado aquí.

A continuación se pueden visualizar un par de gráficos. El primero de ellos (figura 4) muestra resultados obtenidos experimentalmente, extraídos de la fuente citada. Luego se puede observar una gráfica (figura 5) en la cual se han incluido una familia de valores obtenidas aplicando el software mencionado además de la muestra equivalente extraída de la figura cinco con el objetivo de validar los resultados obtenidos mediante MEF respecto de aquellos que proporciona la bibliografía utilizada.

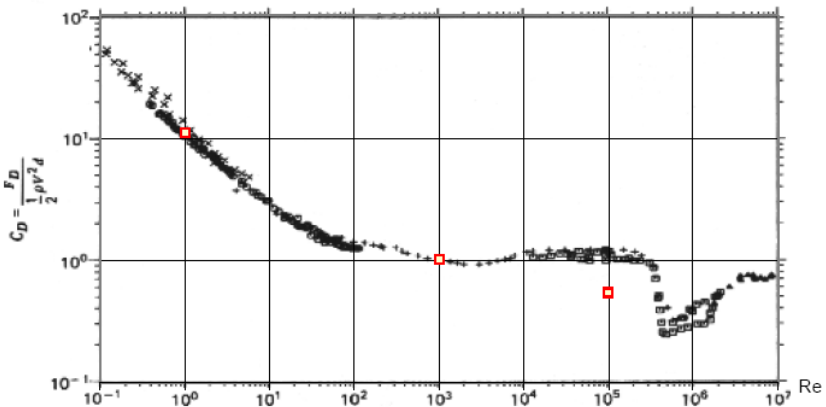


Figura N°4 [11] – Variación del coef. aerodinámico de arrastre C_d vs. Re para cilindro $\phi 50$.

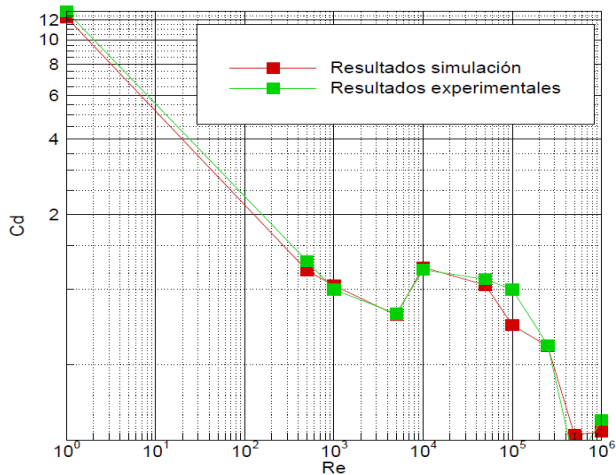


Figura N°5 – Variación del coeficiente de aerodinámico de arrastre C_d vs número de Reynolds Re para cilindro $\phi 50$, para valores obtenidos por simulación frente a los experimentales

Análisis de los resultados obtenidos por simulación para el perfil de ala NACA 0012.

Este perfil alar se caracteriza por ser simétrico, lo que implica que no existe sustentación cuando el ángulo de ataque del perfil es nulo. Como objeto de cada simulación se pretende encontrar como varían tanto el coeficiente de arrastre como el de sustentación para diferentes grados del ángulo de ataque del perfil. Para tal cometido, se ejecutan 10 simulaciones, todas ellas a un Reynolds de 50.000, con variaciones del ángulo de ataque del perfil alar de 0° a 22.5°. La tabla N°2, muestra los valores obtenidos de cada una de las simulaciones ejecutadas. La figura N°6, detalla de manera gráfica los valores tabulados. Como se ve, se manifiesta un crecimiento continuo del coeficiente de arrastre para valores crecientes del ángulo de ataque del perfil. Este crecimiento es totalmente racional, ya que al incrementarse el ángulo de ataque, aumenta el área proyectada expuesta a la fuerza de arrastre y por lo tanto, se incrementa el coeficiente de arrastre. En lo pertinente al coeficiente de sustentación, existe un crecimiento continuo hasta un ángulo de ataque que estriba los 17.5°; Más allá de este punto, comienza a decrecer y se manifiesta un fenómeno conocido como pérdida de sustentación.

Tabla N°2 – Resultados de simulaciones para perfil de ala NACA 0012

ANGULO	COEFICIENTE DE ARRASTRE	COEFICIENTE DE SUSTENTACIÓN	FUERZA DE ARRASTRE [N]	FUERZA DE SUSTENTACIÓN [N]
0°	0,1922	0,0011	0,0016	0,0001
2.5°	0,2000	0,0481	0,0017	0,0033
5°	0,2075	0,1812	0,0020	0,0125
7.5°	0,3790	0,4493	0,0043	0,0308
10°	0,5103	0,4853	0,0072	0,0331
12.5°	0,6017	0,5300	0,0111	0,0349
15°	0,7100	0,5994	0,0149	0,0401
17.5°	0,7594	0,6204	0,0188	0,0410
20°	0,7378	0,6029	0,0183	0,0393

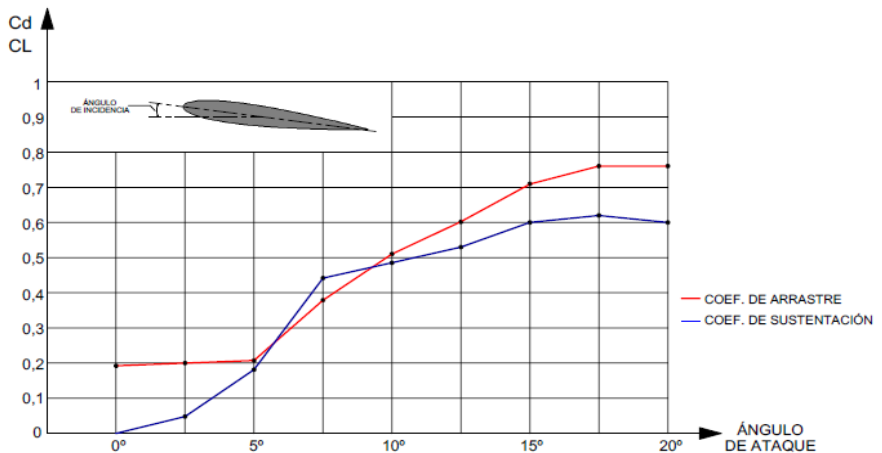


Figura N°6 – Variación del coeficiente de aerodinámico de arrastre y de sustentación vs. el ángulo de ataque del perfil de ala NACA 0012.

Conclusiones

Los resultados obtenidos del proceso de simulación para el cuerpo cilíndrico, guardan correspondencia con los valores que se obtienen por vías empíricas en túneles viento y que fueron extraídos de la bibliografía existente. En lo pertinente a los perfiles alares, las variaciones tanto del coeficiente de arrastre como el de sustentación son realistas y en el caso particular de la sustentación, se manifiesta el fenómeno de pérdida de sustentación característico.

La utilización de un software de las características que posee Solid Works Flow simulation, permite realizar una gran cantidad de simulaciones en tiempos aceptables. Además, es posible realizar un análisis exhaustivo (para este caso, concentrando la atención en los coeficientes de arrastre y sustentación) de las características del flujo fluido que se desarrolla en los alrededores de cada modelo analizado.

Referencias bibliográficas

- [1] Joe F. Thompson, Frank C. Thames and C. Wayne Mastin. Automatic Numerical Generation of Fody-Fitted Curvilinear Coordinate System for field Containing Any Number of Arbitrary Two-Dimensional Bodies. *Journal of Computational Physics* 15, 299-319, (1974)
- [2] Cengel Y. A., Cimbala J. M., *Mecánica de fluidos*, Mc Graw Hill, 2da edición, (2007)
- [3] White F. M., *Mecánica de fluidos*, Mc Graw Hill, Sexta edición, (2008)
- [4] Mataix, C., *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*, Harla, Octava edición (1988).
- [5] Potter M., Wiggert D., *Mecánica de fluidos*, Prentice Hall, 2da. edición (2007)
- [6] Irving H. Shames. *Mecánica de Fluidos*. Tercera edición, Mc Graw-Hill (1995)
- [7] Solid Works, *Flow simulations user's guide* (2008)
- [8] Acheson, D. J. *Elementary Fluid Dynamics*. Oxford Applied Mathematics and Computing Science Series (1990)
- [9] Lomax, H., Pullian T., Zingg D., *Fundamentals of Computational Fluid Dynamics*, Nasa Ames Research Center (1999)
- [10] Anderson, John David. *Computational fluid dynamics: the basic sithapplications*. Mc Graw-Hill (1995)
- [11] Panton Roland L. "Incompressible flow" 2ª edición. JohnWiley & Sons Inc. (1995)

EVALUACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y OTROS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN MIELES MONOFLORES DE LOTUS Y EUCALIPTO

COLOSIMO, Julieta; GALETTI, Valeria.
CIDTA – UTN FRRO – Zeballos 1341 – S2000BUN Rosario
Tel.: 54 341 4484909 – e-mail: juli_colosimo@hotmail.com

RESUMEN

La miel puede considerarse un conductor eléctrico secundario, ya que contiene sales minerales, ácidos orgánicos y aminoácidos, que le confieren esta propiedad. La conductividad es uno de los parámetros de calidad más útiles y ha sido recientemente incluido en los estándares internacionales de calidad de miel. El objetivo de este trabajo fue evaluar la conductividad eléctrica de la miel, en relación al color y al contenido de cenizas y de metales de transición, con el propósito de utilizar este parámetro para el control de calidad de las mieles en estudio, ya que puede determinarse con un método más rápido y confiable que los otros parámetros mencionados. En 19 muestras de miel se determinó la conductividad eléctrica de acuerdo a IRAM 15945; cenizas según AOAC 920.181; Fe, Zn y Cu por el método AOAC 969.32 y color, mediante un colorímetro Hanna. Los valores de conductividad eléctrica se encontraron entre 157.1 y 694.0 dS/m; las cenizas, entre 0.03 y 0.28 g/100g de miel; Zn = 5.6 ± 6.8 mg/kg de miel, Fe = 6.7 ± 4.0 mg/kg de miel y Cu = 0.3 ± 0.2 mg/kg de miel. El rango de colores varió entre 1 y 63 mm Pfund. Se observó correlación ($r^2=0.74$) entre la conductividad y el color. En cambio, no se encontraron correlaciones entre conductividad eléctrica, cenizas o los metales de transición analizados. Los resultados indicarían que la conductividad eléctrica de la miel es función de varios factores complementarios. Resulta necesario continuar con las determinaciones de cada parámetro y ampliar el número de muestras, para seguir estudiando estos comportamientos.

Palabras clave: *miel, conductividad eléctrica, color, Cu, Fe, Zn*

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el consumo de productos alimenticios ha experimentado una serie de cambios importantes. Uno de ellos es la información que el consumidor demanda sobre su calidad, valor nutritivo y características sensoriales, lo que aumenta las exigencias en los controles de los productos alimenticios, destinados al comercio (Nascel, 2011).

La miel, como todo alimento, no escapa a esta demanda. Es frecuente encontrar información nutricional sobre este producto, junto a descripciones sensoriales según su origen floral. Recientemente, se ha incluido la determinación de la conductividad eléctrica dentro de los estándares internacionales de control de calidad de la miel, por constituir un método rápido y sencillo. Durante mucho tiempo, el contenido de minerales se ha determinado mediante el ensayo de cenizas por calcinación. Sin embargo, este método es muy inexacto puesto que el peso del crisol que se utiliza, es mucho mayor que el de las cenizas resultantes de la calcinación de la muestra. Además este procedimiento requiere un considerable tiempo de manipulación de la muestra, hasta la determinación definitiva. Varios autores han propuesto la sustitución de este método por la medida de la conductividad eléctrica, de evaluación más rápida y sencilla, como parámetro indicador de la calidad de mieles (Persano Oddo y Piro, 2004).

La miel puede considerarse un conductor eléctrico secundario, ya que contiene sales minerales, ácidos orgánicos y aminoácidos, que le confieren esta propiedad. La conductividad eléctrica está relacionada con el contenido de minerales y también con el color, ya que algunas sales minerales pueden contribuir con este parámetro.

La variedad de composición de la miel se refleja en su contenido de minerales, que guarda relación con el tipo de miel, con la presencia de polen y de sólidos insolubles. El contenido total de minerales puede ser muy variable, con valores inferiores a 0,1g/100g para mieles de origen floral y mayores a 1g/100g para mieles de mielada (Díaz Hara y col., 1998). La composición final de elementos minerales en la miel está condicionada por el origen botánico, las condiciones del suelo, el clima y las distintas técnicas de extracción y conservación, que podrían incorporarlos como contaminantes. Los minerales presentes en la miel pueden entonces provenir de fuentes naturales (suelo, plantas) o antropogénicas (Hernández y col., 2005). Se les atribuye un alto valor biológico, al encontrarse en forma de sales fácilmente asimilables por el organismo (Bogdanov y col., 2007).

El objetivo de este trabajo fue determinar la conductividad eléctrica en mieles monoflorales y estudiar su correlación con el contenido de cenizas, metales de transición y color, con el propósito de utilizar el valor de conductividad eléctrica como parámetro para el control de calidad de la miel y como indicador de otras propiedades, que requieren técnicas más complejas para su determinación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se ensayaron 19 muestras de miel de lotus (*Lotus corniculatus*) y eucalipto (*Eucalyptus* sp.), provenientes de la provincia fitogeográfica pampeana argentina, correspondientes a la cosecha 2009/2010. El origen floral se determinó según la técnica de Loveaux y col. (1978).

El contenido de humedad de cada una de las muestras de mieles se midió de acuerdo a AOAC Official Method 969.38b (1995), utilizando un Refractómetro Atago FG-106c, debidamente calibrado con aceite dióptrico de referencia. Esta medición se realizó con el objetivo de poder estipular la masa de miel a pesar, para llevar a cabo las posteriores determinaciones de conductividad eléctrica.

La determinación de la conductividad eléctrica se basa en la medición de la resistencia eléctrica, siendo la conductividad (γ) el valor recíproco de la resistividad (IRAM 15945, 1999). Se utilizó un conductímetro HORIBA Modelo D-24E con electrodo de inmersión de platino, que permite ajustar el valor de la constante de la celda de conductividad eléctrica para poder leer directamente la conductividad de la muestra en la determinación. La celda posee un termómetro incorporado, de modo que introduciendo el factor de corrección de temperatura, el equipo proporciona automáticamente el valor de la conductividad a 20°C. Para el análisis, se utilizó una muestra de miel homogeneizada y fundida, libre de impurezas, preparando con ella una solución de 20 g de miel anhidra en 100 mL de agua bidestilada. Se leyó la conductividad eléctrica en dS/m, sumergiendo el electrodo en 40 mL de la solución de miel.

El contenido de cenizas se determinó por calcinación según AOAC Official Method 920.181 (1995). La muestra se calcinaba a 550°C y posteriormente se pesaba el residuo, hasta valor constante.

Entre los metales de transición, se determinaron Fe, Zn y Cu aplicando el método de digestión húmeda AOAC Official Method 969.32 (1995), según el cual se digiere la materia orgánica con una mezcla de ácidos y luego de acondicionar la solución, se lee su absorbancia por espectrofotometría de absorción atómica, a la longitud de onda adecuada. Para esta determinación, se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica marca Varian modelo 1475, provisto de lámparas de cátodo hueco de Fe, Cu y Zn. Se establecieron las condiciones óptimas de trabajo para el equipo: intensidad de la lámpara 3 mA (Cu) y 5 mA (Fe y Zn), slit 0,5 nm, modo de lectura "run mean" con "time" 0,2s y llama oxidante de aire-acetileno. Las longitudes de onda utilizadas fueron: 248,3 nm (Fe), 324,7 nm (Cu) y 213,9 nm (Zn). Se determinó la absorbancia de la solución muestra y de la solución estándar (estándar comercial de multielementos ICP VI, Merck). Las determinaciones se efectuaron por triplicado y se hicieron dos blancos, tratados de la misma manera que las muestras de miel. Las muestras y los reactivos se prepararon diariamente, para evitar pérdidas y contaminaciones.

El color se midió utilizando un colorímetro Hanna modelo C221 (Honey Color Instrument, Italia), siguiendo las instrucciones del manual del equipo.

Para el análisis estadístico correspondiente a la caracterización de las muestras se utilizó el paquete estadístico XLSTAT-Excel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los valores de los parámetros evaluados, para cada una de las muestras.

Las mieles de eucalipto mostraron colores comprendidos entre 7 y 60 mm Pfund, con una mediana de 38 mm Pfund; el color para las mieles de Lotus, en cambio estuvo comprendido entre 1 y 63 mm Pfund, con una mediana de 13 mm Pfund.

Tabla 1. Valores de las distintas variables fisicoquímicas ensayadas para mieles de Lotus y Eucalipto

<i>Muestra</i>	<i>Origen floral</i>	<i>humedad g/100g</i>	<i>color mm Pfund</i>	<i>cenizas g/100g</i>	<i>Zn mg/kg</i>	<i>Fe mg/kg</i>	<i>Cu mg/kg</i>	<i>Conductividad dS/m</i>
3	Eucaliptus	16,5	60	0,03	1,35	8,41	0,50	694
4	Lotus	20	14	0,04	3,27	14,69	0,33	292
5	Lotus	21	27	0,05	3,51	3,69	0,18	293
7	Lotus	20	12	0,05	2,28	10,35	0,21	229
8	Lotus	18	11	0,11	2,56	5,91	0,39	248
9	Lotus	19	36	0,07	3,21	7,41	0,25	347
10	Lotus	18	20	0,06	4,20	1,68	0,17	291
14	Lotus	20	21	0,15	1,36	5,44	0,27	335
15	Eucaliptus	21	31	0,27	18,13	16,61	0,42	376
16	Lotus	17	8	0,23	15,42	4,54	0,00	222
19	Lotus	17	4	0,28	24,40	7,39	0,37	172
21	Lotus	16	1	0,15	5,89	3,93	0,20	157
22	Lotus	19	3	0,19	1,19	2,38	0,00	191
24	Eucaliptus	20	7	0,11	8,60	3,51	0,18	222
25	Eucaliptus	16	14	0,15	1,29	3,68	0,00	235
27	Lotus	19	63	0,25	0,68	6,75	0,23	303
31	Eucaliptus	21	48	0,07	1,86	5,72	0,29	915
33	Eucaliptus	18	45	0,10	1,48	8,43	0,84	846
	promedio	18,69	23,61	0,13	5,59	6,70	0,27	353
	desvío std	1,71	19,53	0,08	6,79	3,99	0,20	225
	mínimo	16,00	1,00	0,03	0,68	1,68	0,00	157
	máximo	21,00	63,00	0,28	24,40	16,61	0,84	915
	mediana	19,00	17,00	0,11	2,89	5,82	0,24	291

Para todas las muestras, tanto la humedad como el contenido de cenizas se encontraban dentro de especificaciones.

El contenido de Fe estuvo comprendido entre 1.6 y 16,6 mg/kg de miel ($\bar{x} = 6.7 \text{ mg/kg} \pm 4.0$); el Cu, entre 0.0 y 0.8 mg/kg ($\bar{x} = 0.3 \text{ mg/kg} \pm 0.2$) y el Zn, entre 0.7 y 24.4 mg/kg ($\bar{x} = 5.6 \text{ mg/kg} \pm 6.8$). Los resultados obtenidos en el presente estudio mostraron niveles superiores a los informados para mieles cubanas (Sosa Martínez y col., 2009), para mieles de la región de Pomerania (Przybyjowski, 2001) y para mieles originarias de Brasil (Ito y col., 2011). En cambio, resultaron similares a los valores informados para Fe y Zn en mieles indias (Nanda y col., 2003) y árabes (Kaakeh y col., 2005). En muestras de miel provenientes de Turquía, el Fe fue el elemento traza más abundante (Tuzen y col., 2007). Otros autores informaron que los principales elementos traza presentes en mieles chilenas fueron Al, Fe, Mn y Zn (Fredes y Montenegro, 2006).

En un análisis de regresión multivariado, la probabilidad asociada al F, indicó que las variables explicativas (color, cenizas, Zn, Fe, Cu) originaban información significativa en relación a la conductividad eléctrica. Sin embargo, en los modelos de regresión lineal y logarítmica, solo el coeficiente de color fue significativo estadísticamente ($p \leq 0,05$), para predecir los valores de conductividad (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros del modelo de regresión múltiple para la conductividad en función de las variables ceniza, color, Zn, Fe y Cu

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	205,63	97,46	2,11	0,06
Color	6,48	2,34	2,77	0,02
Cenizas	-664,94	590,13	-1,13	0,28
Zn	3,28	8,01	0,41	0,69
Fe	-9,16	10,78	-0,85	0,41
Cu	466,71	233,91	2,00	0,09

Al correlacionar color y conductividad eléctrica, el coeficiente de correlación de Pearson resultó igual a $r^2=0.74$. En la Figura 1 se indica la curva de regresión entre estas variables ($R^2=0,65$). Se puede visualizar que las mieles claras (<35 mm Pfund) tienen conductividades entre 150 dS/m y 400 dS/m, mientras que las más oscuras presentan valores muy disímiles entre sí (300 dS/m a 950 dS/m). Precisamente, estas últimas son las que provocan la mayor desviación de los resultados, respecto a una relación entre las variables, como lo indica la curva de regresión ajustada.

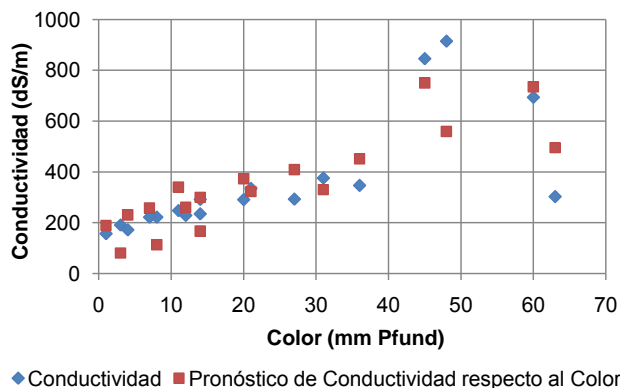


Figura 1. Curva de regresión ajustada para conductividad eléctrica y color en mieles

Por el contrario, no fue posible establecer algún tipo de correlación entre el contenido de cenizas y la conductividad eléctrica. Esto podría deberse a la baja exactitud del método de determinación de cenizas. También se observa que las muestras con valores mayores de conductividad, que se corresponden con las más oscuras, son las que se desvían con respecto a los resultados obtenidos para las demás muestras, como en el análisis anterior.

Los contenidos de Fe, Cu y Zn no contribuyeron a explicar los valores de conductividad, o su contribución fue muy escasa. Esto hace pensar que la conductividad de las mieles analizadas estaría influenciada, en mayor medida, por el contenido de otras sustancias, y que estos tres minerales, probablemente debido a su escasa concentración en la miel, no influyen en forma significativa.

Los resultados coinciden con lo informado en un estudio sobre mieles de la región del Caldén y del sur pampeano argentino (Balbarrey y col., 2010), donde se estudiaron mieles claras de *Eucalyptus* sp., *Diplotaxis tenuifolia* y *Centaurea solstitialis*. Al analizar las mieles claras de este conjunto (color < 50 mm Pfund), no se encontraron correlaciones entre el color, la conductividad eléctrica y el contenido de minerales. Esto indicaría que en las mieles claras, hay otros compuestos que afectan estas variables (Gallez y col., 2010).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en las determinaciones de conductividad y cenizas, se puede concluir que existen diferencias en cuanto a lo que realmente se determina en cada uno de los métodos, por cuanto que la determinación de cenizas por calcinación sirve para estimar las materias solubles e insolubles en agua, tales como silicatos y carbonatos, mientras que, con las medidas de conductividad se detectan solamente las sustancias solubles en agua.

Los metales de transición ensayados no son suficientes para explicar los valores de conductividad encontrados. En relación al color, hay una correlación manifiesta en el rango ensayado, para las mieles de estos orígenes florales.

Para todos los parámetros resultaría necesario aumentar el número de muestras ensayadas, analizando especialmente mieles oscuras.

REFERENCIAS

- AOAC Official Methods of Analysis. 1995. 16 th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD, Ch. 44, 40.
- Apicultural Congress (243). Buenos Aires: Apimondia.
- Balbarrey, G.; Andrada, A.; Echazarreta, J.; Iaconis, D.; Gallez, L. 2010. Relationship between mineral content and color in honeys from two ecological regions in Argentina, AIC Color and Food, Proceedings of Interim Meeting of the International Color Association. 552-555.
- Bogdanov, S., Haldimann, M., Luginbul, W., Gallman, P. 2007. Minerals in honey: enviromental, geographical and botanical aspects. Journal of Apicultural Reasearch and Bee World, 46(4), 269-275.
- Díaz Hara, R.C.; Fernández Romera, D. 1998. Determinación de algunos parámetros de calidad de la miel en la provincia de Huesca. *Lucas Mallada*, 10, 107-122.
- Fredes, C.; Montenegro, G. 2006. Contenido de metales pesados y otros elementos traza en mieles de abeja en Chile. *Cien. Inv. Agr.*, 33 (1), 57-66.
- Gallez, L.; Marconi, A.; Tourn, E.; Gonzalez Miret, M.L.; Heredia, F.J. 2010. Colour of honeys from the south western Pampas region: relationship between Pfund color scale and CIELAB tristimulus method, AIC Color and Food, Proceedings of Interim Meeting of the International Color Association, 433-436.

- Hernández, O.M., Fraga, J.M., Jimenez, A., Jimenez, F., Arias, J. 2005. Characterization of honey from the Canary Islands: determination of the mineral content by atomic absorption spectrophotometry. *Food Chemistry*, 93(3) 449-458.
- IRAM 15945: 1999. Miel. Determinación de la conductividad eléctrica. Editado por Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, Argentina.
- Ito, É.H.; Modanesi, M. S.; Ikeda, N.Y.; Orsi, R.O.; Gomes, S.M.A. 2011. Evaluation of the essential microminerals concentration in honeys bee *Apis mellifera*. Proceedings 42nd International Apicultural Congress (248). Buenos Aires: Apimondia.
- Kaakeh, W.; Gadelhak, G. 2005. Sensory evaluation and chemical analysis of *Apis mellifera* honey from the Arab Gulf. *Journal of Food and Drug Analysis*, 13 (4) 331-337.
- Louveaux, J., Maurizio, A., Vorwohl, G. 1978. Methods of Melissopalynology, *Bee World*, 59, 139-157.
- Nanda, V.; Sarkar, B.C.; Sharma, H.K.; Bawa, A.S. 2003. Physico chemical properties and estimatios of mineral content in honey produced from different plants in Northern India. *Journal of Food Composition and Analysis*, 16 (5), 613-611.
- Nascel, L. 2011. El mercado de la miel: una paradoja de complejidad y simpleza. Libro de Resúmenes Apimondia, 57.
- Persano Oddo, L., Piro, R. 2004. *European unifloral honeys: descriptive sheets*. Basilea: Technical Report from the International Honey Commission.
- Przybyjowski, P.; Wilczyjska, A. 2001. Honey as enviroment marker. *Food Chemistry*, 74 (3), 289-292.
- Sosa Martínez, R.; Tenori Borroto, E.; Marrero Chang, O.; Águila Gimenez, E.; Camacho Bordón, S.; Morales Montero, A. 2009. Determinación de compuestos fenólicos, metales y su efecto sobre el potencial antioxidante y tóxico en mieles procedentes de *Apis mellifera*. Proceedings III Congreso Cubano de Apicultura, La Habana, Cuba.
- Tuzen, M.; Silici, S.; Mendil, D.; Soylak, M. 2007. Trace element levels in honey from differenet regions of Turkey. *Food Chemistry*, 103, 325-330.

EVALUACIÓN DE LA CONSTANTE CINÉTICA k PARA EL EJERCICIO DE LA DBO EN EFLUENTES DE LA INDUSTRIA CHACINERA

Jorge A. Garnero. Paola G. Chiappero*

* Grupo de efluentes industriales. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco. Av. de la Universidad 501, 2400, San Francisco (Córdoba), Argentina. E-mail: jgarnero@coopmorteros.com.ar

Palabras Claves/Key words: industria chacinera, efluente, cinética, DBO.

Resumen

La industria chacinera genera efluentes con alto contenido de materia orgánica, la cual puede evaluarse midiendo la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Conocer la velocidad a la cual es oxidada por vía biológica permite diseñar adecuadamente los sistemas de depuración, como así también evaluar el impacto que su vertido puede ocasionar sobre el ambiente.

En el presente trabajo se determinó la constante de velocidad de reacción (k) y la demanda bioquímica de oxígeno última (L) para el efluente generado por un frigorífico faenador de porcinos y elaborador de chacinados, considerando que el ejercicio de la DBO es directamente proporcional a la concentración del sustrato (cinética de primer orden). Se evaluaron muestras del efluente recogidas en diferentes días de la semana, incubándolas durante diez días en condiciones estándar y se midió la DBO ejercida cada 24 horas. Con los valores encontrados se procedió a calcular los parámetros cinéticos k y L utilizando el método de los mínimos cuadrados. Se encontraron valores de k de 0,25 - 0,85 d^{-1} (rango 0,60 d^{-1}) y L de 1578 - 3270 mg/l (rango 1692 mg/l). La DBO ejercida luego de 5 días de incubación (DBO_5) osciló de 1328 - 2730 mg/l (rango 1402 mg/l).

Los resultados de este estudio indican una importante variación en la carga contaminante del efluente medida en términos de DBO_5 , al igual que la velocidad de estabilización por vía biológica evaluada según los valores de k . Del mismo modo, la DBO_5 expresa solo una fracción de la cantidad de oxígeno que se consumirá para la estabilización del residuo en un sistema de depuración o en el ambiente luego de su vertido. Estas situaciones influirán en la eficiencia de las plantas de depuración para este tipo de efluente a los efectos de lograr una adecuada depuración.

Se considera conveniente conocer los parámetros cinéticos para optimizar el diseño de las instalaciones para el tratamiento del efluente generado por la industria chacinera y evaluar adecuadamente el impacto ambiental de este residuo.

Introducción

Los frigoríficos generan volúmenes importantes de efluentes con una carga alta de materia orgánica, altas demandas químicas y bioquímicas de oxígeno, alto contenido de grasas, de residuos secos, de sólidos sedimentables totales, de nitrógeno, de fósforo y de cloruros [1, 2]. La evaluación de la carga orgánica que lleva un efluente se puede realizar mediante la determinación de la DBO_5 , parámetro que permite estimar la cantidad de oxígeno que será consumido por microorganismos aerobios heterótrofos para estabilizarla por oxidación biológica [3]. La cantidad de oxígeno consumido durante ese intervalo de tiempo permite estimar la cantidad de oxígeno que será necesario para estabilizar biológicamente la materia orgánica contenida en el efluente.

Sin embargo, para conocer el impacto que puede producir el vertido de ese residuo sobre el cuerpo receptor no es suficiente con conocer la DBO_5 , sino que es importante conocer la velocidad de oxidación biológica y la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la totalidad de la materia orgánica presente [4, 5]. Para obtener esta información sería necesario incubar la muestra durante un intervalo de tiempo muy prolongado, lo cual dejaría de tener aplicaciones prácticas. Por ello es que se utilizan modelos matemáticos en los cuales se estiman los

parámetros cinéticos k y L . Si bien se existen diferentes modelos cinéticos, lo más frecuente es describir el ejercicio de la DBO en función del tiempo mediante una cinética de primer orden ($dL/dt = -kL$), donde se supone que la velocidad a la cual ocurre la estabilización de la materia orgánica (dL/dt) es proporcional a la concentración de la materia orgánica contenida en la muestra (L) [4]. La velocidad a la cual ocurre esta reacción bioquímica depende de múltiples factores, muchos de los cuales debieron ser estandarizados para la reproducibilidad del método (temperatura, tiempo de incubación, nutrientes e inóculo requeridos). De ese modo, la velocidad de consumo del oxígeno dependerá solamente de la concentración y de la naturaleza de la materia orgánica presente [5]. El parámetro k es independiente de la concentración ($k = 1/L \cdot dL/dt$), por lo cual estimando su valor para diferentes efluentes permitirá conocer la facilidad con la cual será oxidado en condiciones estándares. El diseño de las instalaciones de tratamiento biológico de los efluentes debe tener en cuenta esta situación, por lo que conocer el parámetro k permitirá optimizar las instalaciones, adecuándolas a las características de cada efluente en particular [6].

A través del presente trabajo se buscó conocer los parámetros cinéticos que satisfacen una ecuación de primer orden para el efluente generado por una empresa que posee playa de faena porcina y elaboración de chacinados.

Materiales y métodos

Los ensayos se realizaron sobre el efluente de un frigorífico que realiza faena porcina y elaboración de chacinados, recogiendo nueve muestras compuestas en días diferentes. Las muestras se recogieron por bombeo en el punto de ingreso al sistema de tratamiento primario. Se extrajeron 150 ml de efluente crudo a intervalos regulares de 15 minutos, recolectándose en envases de polipropileno de capacidad suficiente para acumular las muestras extraídas durante 8 horas. Las muestras se mantuvieron bajo refrigeración entre 2 °C y 5 °C. Se extrajeron así tres recipientes diarios con 4,8 litros de efluente cada uno. Al final de cada día se procedió a mezclar el contenido de los tres recipientes para obtener una muestra compuesta de 24 horas.

A partir de esta muestra compuesta así obtenida se extrajo el efluente destinado a los ensayos. La muestra se filtró con un tamiz de 150 micrones para retener sólidos en suspensión de gran tamaño (pelos, restos de carne, grasa, restos de estiércol, etc.) y sobre el líquido se practicaron los ensayos de caracterización (pH, alcalinidad, dureza total, cloruros, demanda química de oxígeno, sólidos fijos y sólidos volátiles) utilizando técnicas estandarizadas [7].

La determinación de la DBO se llevó a cabo utilizando el método manométrico [7]. Se utilizaron 2,00 ml de muestra del efluente filtrado y se lo diluyó con 95,00 ml agua desmineralizada con una conductividad máxima de 2 μ S (Biopack productos químicos) para ajustar el valor de la DBO al rango de lectura del equipo analítico utilizado (OxyTop® measuring system). La dilución de ensayo se colocó en una botella color caramelo junto con el inóculo aclimatado a las condiciones de trabajo según las instrucciones del proveedor (Polyseed Inoculum, Hach Company, Loveland, Co). Se agregó una solución buffer de fosfatos pH 7,2 (Hach Company, Loveland, Co), se cerró herméticamente para impedir el intercambio gaseoso con la atmósfera y se incubó en oscuridad a 20 °C con agitación continua en una incubadora para la determinación de DBO (FTC 90, Velp Scientifica ®). La DBO se leyó diariamente durante 10 días a intervalos regulares de 24 horas [8].

Los parámetros cinéticos k y L se calcularon utilizando el método de los mínimos cuadrados según la metodología indicada en la bibliografía [3, 8]. Con los valores de k y L hallados para cada una de las muestras se calculó la media aritmética, rango (R) y desviación estándar (SD).

Resultados y discusión

La composición química del efluente utilizado en los ensayos se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Composición química del efluente utilizado en los ensayos.

Parámetro	Máximo	Mínimo	Media	Desviación estándar	N ° de muestras
pH	8,56	8,20	8,42	0,19	9
Alcalinidad (mg / l CaCO ₃)	810,3	789,1	801,5	11,1	9
Dureza total (mg / l CaCO ₃)	465,2	436,3	453,7	15,3	9
Cloruros (mg / l)	1384,1	1219,6	1338,5	84,9	9
DQO (mg / l)	3843,6	2486,3	2982,0	473,5	9
DBO ₅ (mg/l)	2730	1328	1894	559	9
Sólidos totales (mg / l)	10440	9585	9978	280	9
Sólidos fijos (mg / l)	7874	7327	7620	186	9
Sólidos volátiles (mg / l)	2704	2017	2358	244	9

La Tabla 2 muestra los valores de DBO encontrados a diferentes instantes de tiempo para las muestras analizadas. Se observa una importante dispersión de los resultados obtenidos para las muestras extraídas en diferentes días de la semana, con rangos amplios en todas las mediciones realizadas.

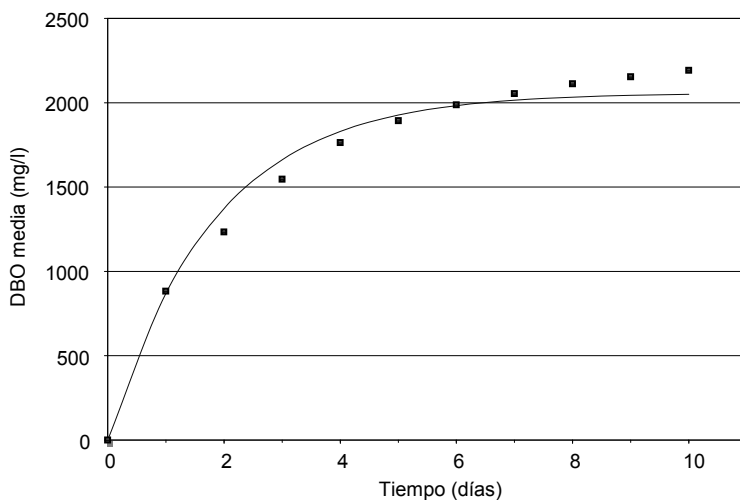


Figura 1: Evolución de la DBO media en función del tiempo

La Figura 1 muestra la evolución de la DBO media en función del tiempo, pudiéndose observar el continuo cambio de la pendiente de la curva a lo largo del tiempo transcurrido de incubación. Estos cambios reflejan la variación de la velocidad de estabilización de la muestra, la cual queda determinada como la pendiente de la recta tangente a la curva en cada uno de sus puntos. Ese cambio continuo en la velocidad de estabilización está asociado a la facilidad de degradación de los compuestos presentes. Aquellos más fáciles de biodegradar se oxidan en los primeros días de incubación, con una mayor velocidad, quedando hacia los últimos días de incubación los compuestos más refractarios a la acción microbiana.

Tabla 2: DBO de las muestras ensayadas a distintos instantes de tiempo.

Ensayo N°	INSTANTES DE TIEMPO (DÍAS)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1683	2052	2341	2485	2607	2690	2750	2854	2915	2956
2	0	984	1170	1455	1497	1497	1558	1600	1600	1581	1558
3	0	821	1045	1396	1600	1661	1750	1775	1795	1815	1828
4	0	657	961	1417	1581	1702	1786	1874	1933	1949	2022
5	0	779	1395	1805	2257	2523	2630	2709	2790	2878	2937
6	0	1240	1748	2150	2500	2730	2900	3000	3150	3180	3205
7	0	940	1280	1450	1570	1565	1660	1760	1820	1900	1970
8	0	410	734	950	1188	1328	1384	1426	1450	1480	1546
9	0	432	720	950	1200	1430	1530	1580	1620	1680	1710
Máximo	0	1683	2052	2341	2500	2730	2900	3000	3150	3180	3205
Mínimo	0	410	720	950	1188	1328	1384	1426	1450	1480	1546
Media	0	883	1234	1546	1764	1894	1988	2053	2112	2153	2192
Desvío estándar (SD)	0	399	446	478	515	559	581	595	637	650	655
Rango (R)	0	1273	1332	1391	1312	1402	1516	1574	1700	1700	1659

En la Tabla 3 se muestran los valores de k y L obtenidos para cada una de las muestras analizadas según la metodología detallada en la bibliografías [3, 8].

Tabla 3: Valores de k y L de las muestras ensayadas

Muestra N°	k (día ⁻¹)	L (mg/l)
1	0,69	2823
2	0,85	1578
3	0,47	1854
4	0,35	2063
5	0,31	3094
6	0,38	3270
7	0,56	1838
8	0,32	1603
9	0,25	1897
Máximo	0,85	3270
Mínimo	0,25	1578
Media	0,55	2058
Desvío estándar	0,20	655
Rango	0,60	1692

Se observa una importante dispersión de los valores de k ($SD = 0,20 \text{ d}^{-1}$) y de L ($SD = 655 \text{ mg/l}$), posiblemente asociados a la actividad desarrollada en la planta industrial en la jornada cuando se extrajeron cada una de las muestras analizadas.

A pesar de ser la industria de elaboración del chacinados una actividad que genera un efluente de naturaleza eminentemente orgánica, la constante k toma valores bajos, indicando baja velocidad de estabilización del residuo con valores de L muy elevados, por lo que es de esperar que se requieran tiempos prolongados e importantes consumos de oxígeno disuelto para poder satisfacer su demanda de oxígeno y evitar la acción contaminante del vertido.

Conclusiones

El efluente utilizado para la realización del presente trabajo tiene una composición química similar a la informada en trabajos anteriores [1, 2, 9] para efluentes generados por la industria frigorífica.

La constante cinética de velocidad de reacción k muestra un rango de valores muy amplio ($R = 0,60 \text{ d}^{-1}$). Los valores de k para muestras recogidas en diferentes días de la semana muestran valores muy dispares, lo que indica velocidades de degradación de la materia orgánica muy variable. Se observa un amplio rango de valores de DBO_5 ($R = 1692 \text{ mg/l}$), por lo que se supone que las distintas velocidades puedan estar asociadas a diferencias en la composición química del efluente, vinculadas a su vez a la actividad desarrollada en la planta industrial durante el día de muestreo.

La variación de los valores de k genera la necesidad de contar con esta información para el diseño de estaciones de tratamiento que resulten eficientes para las distintas composiciones de efluente que deberán manejar. Las amplias variaciones de L indican necesidades variables de oxígeno y de tiempos de residencia en los reactores que se diseñen para la depuración del residuo, debiendo satisfacer altas de demanda de oxígeno para lograr objetivos de eficiencia que resulten satisfactorios para la protección de los cuerpos receptores en los cuales se realicen los vertidos de los efluentes tratados.

El valor medio calculado para la constante cinética k para este efluente muestra valores más altos que el informado para efluentes de otros orígenes [3, 10]. Esto demuestra que se trata de

efluentes relativamente sencillos de biodegradar, aún cuando lograr la completa satisfacción de la demanda altas masas de oxígeno disuelto en el licor mezcla de los reactores biológicos.

El diseño de planta de tratamiento de efluentes que solo consideren el caudal del líquido a depurar y su DBO_5 sin contemplar la velocidad a la cual ocurre la degradación o la demanda última de oxígeno pueden conducir a la construcción de instalaciones que no logren la eficiencia de remoción apropiada para la protección del ambiente en el cual el efluente tratado sea vertido.

Referencias

[1] Sroka, E., Kaminski, W., Bohdziewicz, J. 2004. Biological treatment of meat industry wastewater. *Desalination*. 162: 85 – 91.

[2] Johns, M. R. 1995. Developments in wastewater treatment in the meat processing industry: a review. *Bioresource Technology* 54: 203 – 216.

[3] Crites, R., Tchobanoglous, G. 2000. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. McGraw-Hill Companies, INC.

[4] Moore, E., Thomas, H., Snow, W. 1950. Simplified method for analysis of B.O.D. data. *Sewage and industrial wastes*. 22 (10): 1343 – 1353.

[5] Orford, H, Ingram, W. 1953. Deoxygenation of sewage. *Critical Review of the monomolecular formula*. *Sewage and industrial wastes*. 25 (4): 419 – 424.

[6] Nakhla, G., Liu, V., Bassi, A. 2004. Kinetic modeling of aerobic biodegradation of high oil and grease rendering wastewater. *Bioresource Technology*. 97: 131 – 139.

[7] The American Public Health Association, The American Water Works Association and the Water Pollution Control Federation. 1989. *Standard Methods for the examination of water and wastewater 17th Edition*. APHA. Washington, D.C.

[8] Metcalf, L.; Eddy, H.P. 1995. *Ingeniería de las aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. 3ª edición. Ed. McGraw – Hill, INC., Madrid.

[9] Benticuaga, I., Barbaresi, C., Carbajal, A., de Tullio, L. and Zuccolo, C. 1986. Los efluentes líquidos originados en la actividad chacinera. *Noticiteca* 16 (1): 35 - 39.

[10] Cutrera, G., Manfredi, L., del Valle, C., González, J. 1999. On the determination of the kinetic parameters for the BOD test. *Water SA*. 25 (3): 377 – 379.

TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE

NORMA ISDB-Tb

Autores: Ing. en Electrónica Hugo Oliveros / Ing. Electrónico-Electricista Hector Ferrari

Posgrado: Ingenieros Especialistas en Telecomunicaciones Telefónicas

Universidad Nacional de Córdoba - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Avenida Velez Sarsfield 1610 - Ciudad Universitaria - Córdoba

Ing_oliveros@arnet.com.ar

hdferrari@gmail.com

Tutor: MSc Ing. Pedro Danizio

Resumen:

Esta presentación tiene por objetivo ilustrar el Estándar Internacional Japonés: **ISDB-T** (Integrated Services of Digital Broadcasting), adaptado primeramente por Brasil, con sus modificaciones al: **ISDB-Tb** (**b** = brasilero), que luego fue adoptado definitivamente por la mayoría de países Latino-americanos; con el consiguiente mercado normalizado para los fabricantes de equipos de TVD, decodificadores digitales, potencia RF, antenas y software para interactividad.

Introducción:

Desde los comienzos de la Radiodifusión, el planeamiento de frecuencias ha tenido como principal objetivo evitar las interferencias causadas por la superposición de las áreas de servicio de los transmisores, atendiendo permanentemente la tarea de reasignación de frecuencias y potencias, y definiendo los límites de reutilización de canales.

Cabe aclarar que además existen otros fenómenos de interferencias adicionales, como lo son las generadas por el canal radioeléctrico terrestre, el cual responde a un modelo de propagación muy complejo, llamado propagación multitrayectoria, provocando reflexiones y ecos interferentes.

Por último aparecen también las interferencias por Efecto Doppler, que son derivas de frecuencias que se producen especialmente en los casos de recepción móvil.

Para sortear esta degradación provocada por el canal físico, el método que se emplea tradicionalmente consiste en incrementar la potencia de la señal directa (aumentando la potencia de salida del transmisor, por ejemplo); pero de esta manera se extienden los límites para la posible reutilización del canal, con la consecuente ocupación innecesaria del espectro radioeléctrico disponible.

A principios de los años 80, el laboratorio francés **CCETT** (Center Commun d'Etudes en Télédiffusion et Télécommunication) trabajó en el desarrollo de un sistema de modulación robusto y eficiente, con dos objetivos: transportar señales digitales y ahorrar espectro radioeléctrico. Logran entonces la Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales: **OFDM**.

Metodología:

Nuestra presentación tratará de aclarar y difundir los conceptos y las definiciones vertidas en la Norma Japonesa-Brasilera, mediante: Traducción ; Interpretación ; Ilustración Gráfica ; Desarrollo y Modelización Matemática.

Se comenzará presentando un Diagrama de Bloques General, donde nos centraremos en el

*Bloque de entrada: Que es el encargado de la generación de las tramas binarias: **BTS**.

*Bloque de modulación: Que es la esencia del Estándar Japonés-Brasilero: **COFDM**.

Se planteará, cómo se determinan las cantidades de portadoras necesarias en este sistema de modulación multiportadora, responsable de transportar a dichas tramas digitales (a los BTS).

Finalmente se enumerarán las posibilidades que permite la **TDT**, mediante las **configuraciones** del multiplexor digital.

Desarrollo:

El Gobierno Nacional aprovecha la plataforma tecnológica digital terrestre para satisfacer y cubrir dos aspectos pertinentes a la **Nueva Ley de Medios Audiovisuales**, la cual pretende, entre sus argumentos, el de "democratizar las informaciones":

a- El aspecto geográfico propone llegar con las informaciones a todo el Territorio Nacional y en forma gratuita. Esto se logra enlazando a todo el País (televisión terrestre) por medio de torres en capitales de provincias y principales ciudades. Las transmisiones hacia las torres se realizarán primeramente vía-satélite (convenio con ARSAT); luego mediante fibra óptica. Sus retransmisiones se preveen a través de redes de frecuencias únicas (SFN) (convenios con INVAP).

b- El aspecto diversidad propone llegar con las informaciones desde dos o más fuentes diversas. Esto se logra gracias a la bondad digital (televisión digital) de ahorrar espectro y distribuir nuevas frecuencias dentro del mismo espectro radioeléctrico (saturado y monopolizado...).

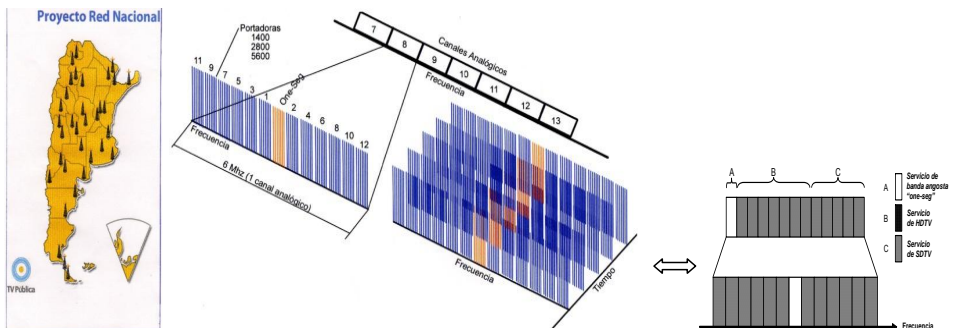


Figura 1: Aspecto Geográfico y Aspecto de Diversidad

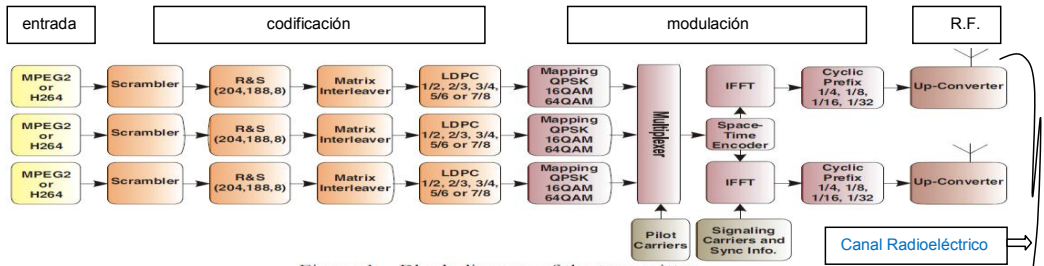


Figure 1 – Block diagram of the transmitter.

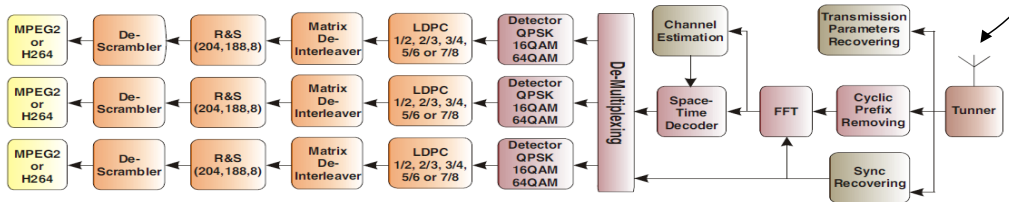


Figure 2 – Block diagram of the receiver.

Figura 2: Diagrama en Bloque para Televisión Digital Terrestre:

Bloque Entrada:

Comenzaremos admitiendo que nuestra información (video , audio y datos) se encuentra ya digitalizada, en decir con algún formato expresado en bps. Cabe ahora utilizar las bondades de la **compresión**, que son protocolos que transforman flujos digitales grandes y lo reducen en gran proporción, sin pérdida aparente de calidad. Para cuando Japón desarrolló su estándar, el protocolo más evolucionado era el MPEG-2. En los tiempos que Brasil lo adoptó, ya se había desarrollado el CODEC MPEG-4 y la versión H.264, constituyendo ésto la 1º mejora Brasileña.

Los flujos digitales de video, audio y datos deben ser igualmente interpretados por un 1º multiplex para poder generar en su salida los llamados Transport Stream (**TS**), compuestos por 187 bytes de carga útil y 1 byte de sincronismo (con este mecanismo se generaría una programación local).

Un 2º multiplex opcional posibilita introducir todas las señales satelitales y también la señal local.

Seguidamente los TS ingresarán a un **Re-multiplexor** encargado de generar los llamados **BTS** (Flujos de Transporte de Broadcasting), los cuales serán la información binaria total a transportar:

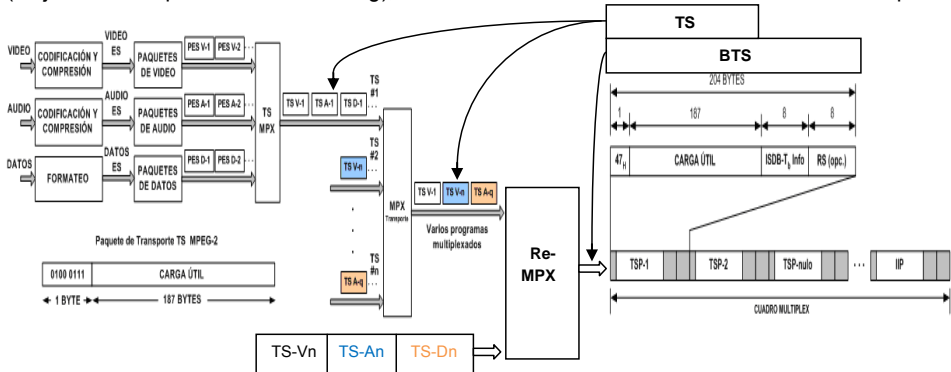


Figura 3: Bloque de Entrada y BTS

- * Son flujos binarios sincrónicos constituídos por tramas o paquetes de 204 bytes.
- * Tienen tasas de transmisión constante de 32,5079 Mbps.
- * Resuelven la transmisión jerárquica y la recepción parcial.
- * Agrega cabecera de 16 bytes de información: configuraciones, sincronismos, programación,...

Bloque Modulación:

Supongamos que se está sintonizando un canal radioeléctrico y se puede visualizar la señal transmitida con la ayuda de un analizador de espectro:

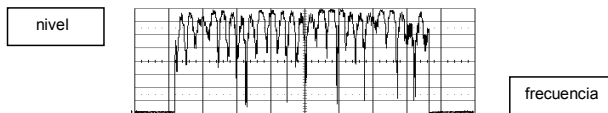


Figura 4: Espectro de la señal recibida

Es posible apreciar que la respuesta en frecuencia no es la misma para todas las frecuencias incluidas dentro de la anchura de la banda del canal: hay suma y restas de señales directas y reflejadas (además de desvanecimientos por propias atenuaciones que produce el canal).

Si se modulara una sola portadora, podría suceder que en varios momentos se desvaneciera la señal totalmente, perdiendo toda la información modulante. En cambio, resulta muy beneficioso distribuir los datos (TSP) en una gran cantidad de frecuencias estrechamente separadas que no interactúen entre sí (**OFDM**); y poder recuperar parte de la información transmitida a partir de las frecuencias que no han sufrido alteración durante el proceso de propagación.

Los datos restantes corruptos se intentarán recuperar gracias a las técnicas generadas por los códigos correctores de errores (**COFDM**); cual son Código Reed-Solomon y Código Viterbi.

Lamentablemente las características del canal radioeléctrico no se mantienen constante en el tiempo. Si a la figura 4 se la obtiene en otro instante, aparecerán degradaciones en frecuencias diferentes. Entonces, debemos utilizar el canal (transmitir) en intervalos de tiempo durante los cuales las condiciones se mantienen constante. Por tanto, tendremos diagramas donde el nivel es función de las frecuencias y es función del tiempo, generando dos posibles inconvenientes:

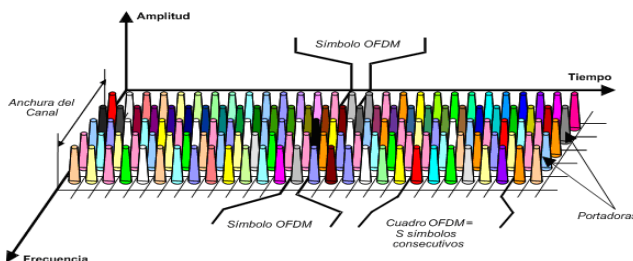


Figura 5: Inserción de portadoras

1- En el eje de las frecuencias, podrían generarse **intermodulaciones entre portadoras (ICI)**. Por ello, es que se utilizan portadoras ortogonales, cuyo principio explicaremos seguidamente: Nuestra información binaria a transmitir (stream de información) constituye una ráfaga de pulsos de anchura T_u (tiempo útil) y de período T_s (tiempo de símbolo). Por Fourier, tiene su espectro definido por la función envolvente discreta de la función:

$$\frac{\sin \pi x}{x}$$

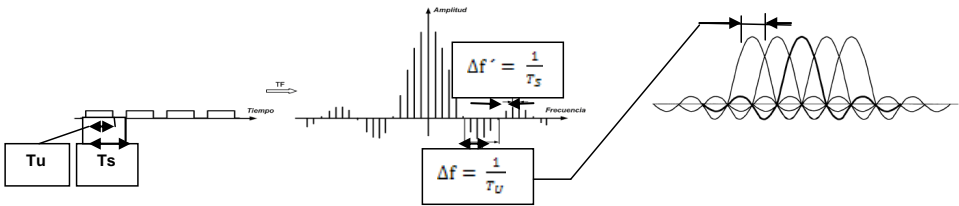


Figura 6: Representación de ráfagas digitales en el tiempo y su espectro en frecuencia.

- *Su cruce por cero es la separación de las frecuencias ortogonales $\Delta f = \frac{1}{T_u}$ y T_u es el **tiempo útil**.
- *Su separación espectral es $\Delta f' = \frac{1}{T_s}$ y T_s es el **tiempo del símbolo** (donde $T_s = T_u + T_g$).
- *El espaciado temporal entre pulsos se define como T_g : **tiempo de guarda**.
- *La relación de guarda $\Delta = T_g/T_u$ es **configurable** en valores: 1/4 ; 1/8 ; 1/16 ; 1/32 .

La separación espectral tiende a cero cuando se rellena el espacio entre pulsos; así la función envolvente discreta $\frac{\sum nx}{x}$ pasa a ser continua y no se pierden sincronismos en el receptor. Dicho relleno se hace con la parte final del símbolo y equivale a **función inversa a la autocorrelación**.

- 2- En el eje de los tiempos, podrían generarse **intermodulaciones entre símbolos (ISI)**, por:
- *propagación multitrayectoria: diferente recorrido entre onda directa y onda reflejada (o eco).
 - *transmisiones en redes de frecuencia única: diferente recorrido de 2 ondas directas (2 torres).

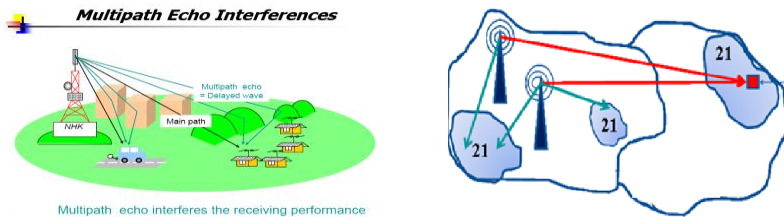


Figura 7: Propagación multitrayectorias y transmisiones en SFN

Para ambos casos, y con el fin de prever los retardos de ondas electromagnéticas moduladas digitalmente, que viajan a la velocidad de la luz pero que recorren diferentes distancias, es que se añade el **tiempo de guarda (Tg)** y se definen los símbolos como S_n de duración total T_s :

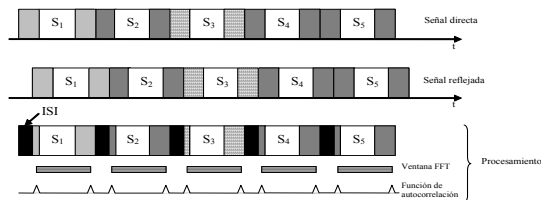


Figura 8: Propagación multitrayectorias y transmisiones en SFN

Empleando métodos convencionales, sería necesario disponer de miles de moduladores en paralelo, cada uno con su mapeador y su sistema de modulación, manteniendo Δf y T_u .

Afortunadamente, existe una manera más sencilla y eficiente de construir un modulador **OFDM**, mediante Procesadores Numéricos que tengan la capacidad de desarrollar la herramienta de la Transformada Rápida de Fourier Inversa (**IFFT**) y su Frecuencia de Muestreo (f_{IFFT}).

A la **IFFT** la calculan los procesadores, mediante una cantidad de puntos, que se traducen en Frecuencias (portadoras) cuyo valor es igual a una potencia entera de 2 (o sea: 2^n); donde:

$$f_{IFFT} = \frac{n^2 \text{ de portadoras necesarias}}{T_u} \quad \text{es la frecuencia de muestreo que requiere la IFFT.}$$

Importante es saber, que si en el transmisor realizamos una función inversa del autocorrelación y la IFFT, entonces en el receptor aplicaremos las funciones FFT y Autocorrelación.

*La función FFT recupera las portadoras (tiene la longitud del símbolo S_n pero no lo posiciona).

*La Autocorrelación sincroniza a la FFT (porque tiene información del inicio y final del símbolo).

El Teorema de Shannon permite calcular la Capacidad teórica máxima de Transmisión (**C**), con probabilidad de error mínima, conociendo el ancho de banda del canal (BW_c) y la Señal/Ruido (**S/N**) transmitida:

$$C \text{ [Mbps]} = BW_c \text{ [Mhz]} \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \approx R \text{ [Mbps]} = \frac{b_p \cdot L}{T_s} \quad \text{donde} \begin{cases} D_p = \text{cantidad de bits / portadora.} \\ L = \text{cantidad de portadoras.} \end{cases}$$

Experimentalmente se encuentra que se necesita una relación $\frac{S}{N} \approx \frac{C}{N} = 18 \text{ [db]} = 64 \text{ [veces]}$ para el caso de TDT con: modulación 64-QAM, redundancia media, en un canal de Rice.

$$\frac{L}{T_s} = 6 \text{ [Mbps]} = \frac{L}{T_u + T_g} = \frac{L}{32 \cdot T_g + T_g} = \frac{L}{33 \cdot T_g} = \frac{L}{33.7} \rightarrow L = 33 \cdot 7.6 = 1405 \text{ portadoras.}$$

$$\text{Separación entre portadoras:} \rightarrow \Delta f = \frac{BW_c}{L} = \frac{6000}{1405} = 3,968 \text{ [kHz]}$$

$$\text{Tiempo útil:} \rightarrow T_u = \frac{1}{\Delta f} = \frac{1}{3968} = 252 \text{ [us]}$$

$$\text{Frecuencia de Muestreo:} \rightarrow f_{IFFT} = \frac{n^2 \text{ de portadoras}}{T_u} = \frac{2048}{252} = 8,126 \text{ [MHz]}$$

Conclusiones:

La Norma ISDB-Tb tiene su esencia en el sistema de modulación de multiplexación por división de frecuencias (**FDM**), que consiste en distribuir las tramas digitales de información (TSP) en una gran cantidad de frecuencias estrechamente separadas, que no interacciones entre sí (**O**=ortogonales) y poder recuperar parte de la información transmitida a partir de las frecuencias que no han sufrido alteración durante el proceso de propagación.

Los datos restantes corruptos se intentarán recuperar gracias a las técnicas posibles generadas por los códigos correctores de errores (**C**=codificadas), cuales son:

*Reed-Solomon: mediante una etiqueta de 16 Bytes permite corregir 8 bytes corruptos.

*Viterbi: mediante una redundancia de bits configurable ($k1 = \frac{1}{2}; \frac{2}{3}; \frac{3}{4}; \frac{5}{6}; \frac{7}{8}$).

El sistema prevee también entrelazados de: bits ; bytes ; frecuencias ; tiempos.

Bibliografía:

- Sistema ISDB-Tb – Ing. Néstor Pisciotta (CIADE-IT. Universidad Blas Pascal, 2010).
- Norma Brasileña ABNT NBR 15601:2007 TDT - Sistema de transmisión - (Brasil, 2007).
- Seminario de Ingeniería de Televisión Digital ISDB-Tb – (UBP y CIEC - Córdoba, 2010).

CAPACIDAD ANTIMICROBIANA DE MICROENCAPSULADOS DE GOMA ARÁBIGA EN LECHE, FRENTE A MICROORGANISMO MESÓFILO Y PSICRÓTROFO

Boiero, M. Laura¹; González Estévez, Virginia¹; Allasia, Mariana¹; Sarmiento, Paula Victoria¹

Tutores: Moyano, Silvia¹; Montenegro, A. Mariana^{1,2}

¹ Departamento de Química. Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Villa María, Av. Universidad 450. Villa María. Córdoba. Argentina. ² Instituto A.P. de Ciencias Básicas y Aplicadas, UNVM, Campus Universitario Arturo Jauretche 1555, Villa María, Córdoba, Argentina. lauraboiero@hotmail.com

RESUMEN

La leche es un alimento rico en sustancias nutritivas, que la convierten en un medio favorable para el desarrollo de microorganismos causantes de alteraciones nutricionales y organolépticas. Si bien posee un mecanismo de protección natural contra las degradaciones, ejercido por inmunoglobulinas, enzimas y vitaminas, ésta es débil y, puede alterarse fácilmente durante el procesamiento y almacenamiento, haciendo necesaria la adición exógena de conservantes de la calidad. Existe una nueva tendencia a la preservación de los alimentos mediante la adición de compuestos naturales. Sin embargo, por su estructura química estos compuestos suelen ser altamente reactivos e hidrofóbicos, por lo que una forma de estabilizarlos y solubilizarlos en medios acuosos es la microencapsulación. Un biopolímero ampliamente empleado para estabilización y solubilización de compuestos bioactivos tales como carotenoides, es la Goma Arábica (GA), a la que se han atribuido propiedades biológicas tales como actividad antioxidante y actividad antimicrobiana (AAM). El objetivo del trabajo, fue evaluar la AAM de GA y β -caroteno (BC) microencapsulado en GA (BC-GA), a través de secado por aspersión, adicionados en leche, frente a un microorganismo mesófilo productor de "off-flavour" como *Bacillus subtilis* (*Bs*) y a un psicrótrofo como *Pseudomonas aeruginosa* (*Ps*). Se determinó el efecto antimicrobiano de los compuestos puro BC y GA por el método de difusión en agar. La velocidad de crecimiento (μ) de *Bs* y *Ps* en leche, con o sin agregado de microencapsulado, se determinó a la temperatura óptima del microorganismo, empleando la técnica de recuento en placa, a través de siembra en profundidad. Los resultados obtenidos indican que la GA y el microencapsulado BC-GA poseen una moderada AAM frente a ambos microorganismos, lo que la convierte en un excelente preservante de origen natural, reduciendo la pérdida de la calidad nutricional del alimento.

1- INTRODUCCIÓN

La pérdida de la calidad nutricional de un alimento puede ocurrir tanto por oxidación química de sus componentes como por desarrollo microbiano durante las diferentes etapas de producción. Debido a que la leche y los productos lácteos son alimentos con una compleja matriz, ricos en sustancias nutritivas, tales como: proteínas, glúcidos, lípidos y sales, a una determinada temperatura de almacenamiento, se convierten en blancos susceptibles a ambos tipos de alteraciones, siendo principalmente un medio favorable para el desarrollo de microorganismos psicrótrofos ($T_{\text{óptima}}$ de crecimiento 0-7°C) y psicrótrofos mesófilos ($T_{\text{óptima}}$ de crecimiento \approx 20°C). El crecimiento microbiano genera alteraciones organolépticas que involucran pérdidas del "flavor" (sabor y aroma) asociadas a la generación de compuestos volátiles de aroma indeseado, con la consecuente pérdida del valor nutricional [1].

Si bien la leche posee una protección natural contra las degradaciones oxidativas y microbiológicas, ésta es débil, y puede alterarse fácilmente durante el procesamiento y almacenamiento, por lo que deben ser adicionados exógenamente. Existe una nueva

tendencia a la preservación de los alimentos mediante el empleo de compuestos naturales que puedan actuar como antioxidantes y antimicrobianos. Estos compuestos pueden ser vitaminas, aceites esenciales, carotenoides, polifenoles, etc.

Los carotenoides son eficientes antioxidantes naturales, ya que impiden la formación de Especies reactivas de oxígeno (EROS) o disminuyen su concentración, protegiendo a compuestos biológicos de la acción dañina de las mismas [2,3]. Además, existen indicios de que presentan también capacidad antimicrobiana, para inhibir el desarrollo de los microorganismos causantes de las degradaciones y apariciones de "off-flavor" [4]. Sin embargo, debido a su estructura química, no son fácilmente dispersables en sistemas acuosos y son altamente lábiles y reactivos a las condiciones ambientales, por lo que se emplea una técnica efectiva para estabilizarlos y solubilizarlos en matrices acuosas para su empleo en medios biológicos, la microencapsulación con biopolímeros [5]. Un polisacárido natural ampliamente utilizado en la industria alimenticia es la GA, que es el exudado de los árboles de *acacia*, *Acacia senegal* (L.) y *Acacia seyal*. Su estructura química consiste básicamente en un grupo de macromoléculas caracterizadas por una elevada proporción de carbohidratos (97%), siendo D-galactosa y L-arabinosa los monosacáridos predominantes y una baja proporción de proteínas (1-3%). Numerosos trabajos han demostrado que GA posee efectos biológicos benéficos sobre el metabolismo de los lípidos, enfermedades renales cardiovasculares y gastrointestinales, siendo principalmente atribuidos a la composición aminoacídica de la fracción proteica [6,7].

En cuanto a la actividad antimicrobiana de GA, pocos estudios han sido realizados, informando principalmente que presenta actividad inhibitoria del crecimiento de ciertas especies patógenas periodontales (agente implicado en la placa bacteriana), tales como *Prophyromonas gingivalis* y *Prevotella intermedia* [8]. Sin embargo, hasta el momento no se han realizados estudios de la AAM de GA con el fin de ser adicionado a una matriz alimenticia, tal como la leche, y protegerla del desarrollo microbiano, principalmente de aquellos microorganismos capaces de resistir condiciones de pasteurización, provistos de enzimas hidrolíticas, que generan *off-flavour* en el alimento, tales como, *Bacillus subtilis*, *B. cereus* y aquellos en que la temperatura de almacenamiento es óptima para su desarrollo, como *Pseudomona aeruginosa*.

El objetivo del trabajo es evaluar la capacidad antimicrobiana de BC y GA puros y del microencapsulado de BC en GA (BC-GA), frente a microorganismos psicrótrofo y mesófilo. En particular, determinar la capacidad de dichos compuestos para reducir la velocidad de crecimiento del microorganismo mesófilo, *Bs*, y del psicrótrofo, *Ps*.

2- MATERIALES Y MÉTODOS

2.1- Reactivos

En el trabajo se utilizaron β -caroteno (BC) de Sigma Aldrich (MO) y GA provista por Colloids Naturals Brasil.

2.2- Microorganismos

Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853, *Bacillus subtilis* ATCC 6066 obtenidas de (American Type Culture Collection, Rockville, MD), fueron usadas como cultivos de referencia.

2.3- Medios de Cultivos

Para el método de difusión en agar se empleó el medio Agar Mueller Hinton (AMH). Como medio de cultivo para el desarrollo de los microorganismos se empleó leche fluida larga vida (UAT) de marca reconocida en el mercado. Para el recuento en placa de los

microorganismos se utilizaron los medios Agar Glucosa-Peptona de Caseína, para desarrollo del género *Bacillus*, y Agar Cetrimide para el desarrollo del género *Pseudomonas*, ambos de Britania, Argentina.

2.4- Microencapsulación

La microencapsulación de BC en GA (BC-GA) como material de pared se realizó por el método de secado por aspersión, (LabPlant SD-04) en Laboratorio de Química de Alimentos (FEA- UNICAMP, Brasil). De la misma forma, también se realizaron microencapsulados de GA, quedando la cápsula sin relleno en su interior (GA-Mic).

2.5- Actividad Antimicrobiana (AAM)

2.5.1- Método de Difusión en Agar

Como un ensayo preliminar a la determinación de la AAM en muestras de leche se evaluó el efecto antimicrobiano de los compuestos puro BC y GA frente a los microorganismos estudiados por el *Método de Difusión en Agar*, de acuerdo a la técnica descrita por Bauer y col. [9], la cual se basa en la medición del diámetro de una zona de inhibición del crecimiento bacteriano, generado por difusión del compuesto en el agar. El tamaño de la zona, indica la sensibilidad del microorganismo a dicho antimicrobiano.

Suspensiones de cada microorganismo fueron preparadas para contener aproximadamente 10^7 UFC/ml usando la escala de McFarland como estándar (Biomerieux Inc.). Placas conteniendo AMH fueron inoculadas con las suspensiones microbianas. Alícuotas de 20 μ L de soluciones de antimicrobiano AM con concentraciones crecientes de 1 a 50 μ M fueron pipeteadas sobre discos de papel de filtro estériles de 5 mm de diámetro y cada uno fue colocado sobre las placas previamente inoculadas. Las placas fueron incubadas por 24 h a 32 °C. El diámetro de la zona de inhibición de crecimiento fue medido con una precisión de 0.02 mm incluyendo el diámetro del disco. Por lo tanto un diámetro de 5 mm corresponde a ausencia de efecto inhibitorio del crecimiento microbiano.

2.5.2- Método de Recuento en Placa

Con el objetivo de obtener la velocidad de crecimiento microbiano (μ), con y sin la adición de antimicrobiano (AM), se desarrollo la técnica de recuento microbiano, empleando una dilución $\times 10^3$ UFC/ml, del cultivo puro de *Bs* y *Ps* ambos en fase exponencial. Cada uno de estos, se inoculó en una muestra de 20 ml de leche, que luego fue dividida en dos porciones, de manera de obtener la misma concentración inicial del inóculo. A una de las muestras, se le adiciona el compuesto AM y la restante actúa como control positivo del desarrollo microbiano. Para el desarrollo de *Bs*, ambas muestras se incuban a 32°C durante 30hs, mientras que para el de *Ps* se incubaron a 4°C durante 10 días. Este procedimiento se realiza para BC-GA y GA-Mic.

A determinados intervalos de tiempo, se realizó la siembra de 1 ml en profundidad, de cada una de las muestras de leche con y sin AM, en Agar Glucosa-Peptona de caseína, como medio de cultivo específico para *Bs*, y en Agar Cetrimide para el desarrollo de *Ps*. Las placas se incubaron durante 48hs a 32°C. Luego de dicho período, se realizó el recuento en UFC/ml y se graficó en función del tiempo.

Todos los experimentos fueron realizados por triplicado en Cabina de Seguridad Microbiológica Biohazard Clase II (BIO-II-A) bajo flujo laminar. Además todos los materiales usados en los experimentos fueron previamente esterilizados.

3- RESULTADOS

3.1- Método de Difusión en Agar

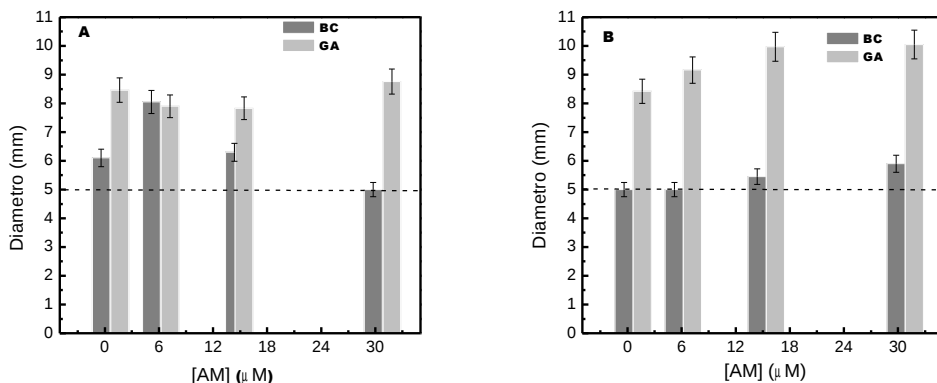


Figura 1. Inhibición de crecimiento microbiano por BC y GA puros frente a A) *Bacillus subtilis*, B) *Pseudomonas aeruginosa*.

En este ensayo se determinó la inhibición de crecimiento bacteriano que ejercen los BC y GA puros frente a los microorganismos estudiados. La Figura 1 muestra los diámetros de las zonas de inhibición de crecimiento presentados por distintas concentraciones de BC y GA frente a *Bs* (1A) y *Ps* (1B) respectivamente.

Para ambos microorganismos se observa que GA presenta un mayor efecto inhibitorio del crecimiento que BC, la misma es prácticamente independiente de la concentración. Se observa que *Bs* presenta una mayor resistencia a GA, mientras que *Ps* es el microorganismo más resistente a BC, lo cual se deduce de los menores valores de diámetros de inhibición obtenidos. Cabe destacar que todos los diámetros de las zonas de inhibición son translúcidas indicando efecto bacteriostático, de reducción de velocidad de crecimiento.

3.2- Método de Recuento en Placa

La velocidad de crecimiento (μ) de un cultivo de *Bs* y *Ps* en leche, con y sin agregado de BC-GA en diferentes concentraciones se determinó a partir de la curva de crecimiento del microorganismo empleando la técnica de recuento microbiano, realizando siembra en profundidad, de cada una de las muestras, en el agar específico para el desarrollo de la cepa, a determinados intervalos de tiempo. Luego del período de incubación, se realizó el recuento en UFC/ml. Las velocidades de crecimiento de un cultivo de *Bs* y *Ps* en leche con y sin agregado de BC-GA almacenada a 32°C y 4°C, respectivamente, se determinaron a partir de las pendientes de la porción lineal de las curvas de crecimiento del microorganismo, Figura 2.

A partir de los valores presentados en la Tabla 1 se pueden calcular los porcentajes de disminución de las velocidades de crecimiento. Para *Bs* se observa que esta disminución se incrementa con la concentración de BC-GA. Comparando los valores obtenidos para ambos microorganismos a la misma concentración de BC-GA, se observa

que *Ps* es menos resistente al microencapsulado, lo cual es concordante con los valores de los diámetros de inhibición de crecimiento mostrados en la Figura 1.

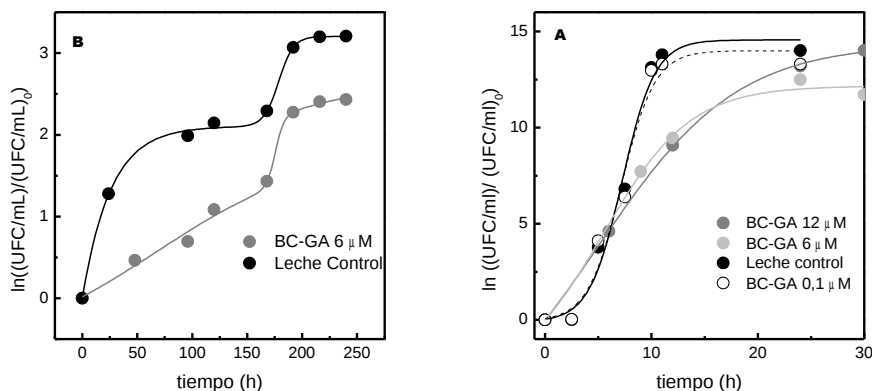


Figura 2. **A)** Curva logarítmica de crecimiento de *Bacillus subtilis* a 32°C en Leche (●) Leche control, (○) Leche adicionada de BC-GA 0,1 μM, (◐) Leche adicionada de BC-GA 6 μM y (◑) Leche adicionada de BC-GA 12 μM. **B)** Curva logarítmica de crecimiento de *Pseudomonas aeruginosa* a 4°C en Leche (●) Leche control, (◐) Leche adicionada de BC-GA 6 μM.

Tabla 1. Velocidad de crecimiento de *Bs* y *Ps* en leche con y sin agregado de BC-GA.

Concentración BC-GA (μM)	Velocidad de Crecimiento Microbiano μ (UFC/ml.h)		
	<i>Bacillus Subtilis</i>		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
0,1	μ _{L+} = 1,1500	μ _{L+ BC-GA} = 1,1155 (3%)	
6	μ _{L+} = 0,9203	μ _{L+ BC-GA} =0,8032 (13%)	μ _{L+} = 0,0128 μ _{L+ BC-GA} =0,0106 (17 %)
13	μ _{L+} = 0,8507	μ _{L+ BC-GA} =0,7564 (11 %)	

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de los ensayos de difusión en agar para los compuestos puros indican que GA posee una capacidad antimicrobiana moderada frente a los microorganismos estudiados. Mientras que BC solo presenta una mínima actividad frente a *Bs*. Estos resultados estarían indicando que el efecto inhibitorio y de reducción de crecimiento microbiano que se pueda observar del agregado del microencapsulado BC-GA, podría deberse casi exclusivamente al componente GA.

Para los ensayos de actividad antimicrobiana en leche puedo observarse que la reducción de la velocidad de crecimiento fue mayor para *Ps*, indicando una mayor sensibilidad de este microorganismo al microencapsulado.

Se ha demostrado que la estructura y composición química de los agentes antimicrobianos es de gran importancia, dado que esto determinará su localización y orientación en la membrana lipídica, y finalmente, el efecto que tenga sobre la célula bacteriana. Investigación reciente, indica que la protección del daño oxidativo en las

membrana por los carotenoides, puede deberse a la modificación de las propiedades físicas de la fase lipídica de la misma. BC es una molécula hidrofóbica, que carece de grupos polares, por lo que su posible orientación en la membrana lipídica, estaría gobernada por interacciones Van Der Waals con las cadenas hidrocarbonadas, incorporándose en el núcleo hidrofóbico de la membrana. Esta ubicación, no genera modificaciones importantes en la estructura, ni en la funcionalidad de la membrana, por lo que su efecto AAM es menor que el de un compuesto polar.

La AAM mostrada por GA puede atribuirse a enzimas tales como oxidasas, peroxidasas y pectinasas presentes en la fracción proteica de la misma. Para algunas de estas enzimas se han demostrado sus propiedades antimicrobianas [^{10, 11}]

Por último podríamos indicar que los resultados obtenidos potencian la aplicación del microencapsulado BC-GA, que generalmente es empleado como antioxidante, pudiéndose usar como una preservador de alimentos que podría proteger la calidad nutricional y microbiológica del mismo.

5- REFERENCIAS

1. Karatapanis, A.E.; Badeka, A.V.; Riganakos, K.A.; Savvaidis, I.N.; Kontominas, M.G. (2006). Changes in flavour volatiles of whole pasteurized milk as affected by packaging material and storage time. *International Dairy Journal*, 16, 750-761.
2. Palozza, P.; Krinsky, N.I. Antioxidant Effects of Carotenoids in Vivo and in Vitro. *Method Enzymol.* 213, 403, 1992.
3. Montenegro, M.A.; Nazareno, M.A.; Durantini, E.N.; Borsarelli, C.D. (2001). Singlet Oxygen Quenching Ability of Carotenoids in a Reverse Micelle Membrane Mimetic System. *Photochem. Photobiol.* 75, 353-361.
4. Fleischer, T.C.; Ameade, E.P.; Mensah, M.L.K.; Sawyer, I.K. (2003) Antimicrobial activity of the leaves and seeds of *Bixa orellana*. *Fitoterapia*, 74:136-38.
5. Borgogna, M.; Bellich, B.; Zorzin, L.; Lapasin, R.; Cesàro, A. (2010). Food microencapsulation of bioactive compounds: Rheological and thermal characterisation of non-conventional gelling system. *Food Chemistry*, 122, 416-423.
6. Glover, D.A.; Ushida, K.; Phillips, A.O.; Riley, S.G. (2009). Acacia(sen) SUPERGUM™ (Gum arabic): An evaluation of potential health benefits in human subjects. *Food Hydrocolloids* 23, 2410-2415.
7. Matsumoto, N.; Riley, S.; Fraser, D.; Al-Assaf, S.; Ishimura, E.; Wolever, T.; Phillips, G.O.; Phillips, A.O. (2006). Butyrate modulates TGF-beta1 generation and function: potential renal benefit for Acacia (sen) SUPERGUM (G.A.)? *Kidney Int.* 69, 257-265.
8. Clark, D.T.; Gazi, M.I.; Cox, S.W.; Eley, B.M.; Tinsley, G.F. (1993). The effects of Acacia arabica gum on the in vitro growth and protease activities of periodontopathic bacteria. *J Clin Periodontol.* 20, 238-43.
9. Bauer, A.W.; Kirby, W.M.; Sherris, S.C.; Turck, M. (1966). Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. *The American Journal of Clinical Pathology.* 45, 493-496.
10. Tyler, V., Brady, L., & Robbers, J. (1977). *Pharmacognosy*. 7th ed (p. 66–80). Philadelphia: Lea & Febiger.
11. Kirtikar, K. R., & Basu, B. D. (1984). *Indian medicinal plants*. (2nd ed.). Delhi, Periodical Expert Book Agency. Vol. 3, pp 1596 -1598.

SISTEMA DE ADQUISICIÓN, ALMACENAMIENTO Y VISUALIZACIÓN DE DATOS EN PC UTILIZANDO SENSORES MEMS (ACELERÓMETROS)

Bernardi, Emanuel¹; Moriondo, Darío²; Peretti, Gastón³.

*(1) Alumno Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco, Córdoba
bernardiemanuel@arnet.com.ar*

*(2) Alumno Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco, Córdoba
dario.moriondo@gmail.com*

*(3) Docente y tutor Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco, Córdoba
gastonperetti@gmail.com*

Resumen

Debido a la necesidad de integrar los contenidos aprendidos en diversas asignaturas, se abordó el desarrollo de un sistema capaz de adquirir datos a partir de sensores micro-electromecánicos (MEMS), transmitirlos y visualizarlos en tiempo real en un computador personal. La adquisición de datos se realiza a través de sensores micro-electromecánicos montados sobre un sistema móvil, con el fin de detectar las aceleraciones sufridas por el mecanismo en estudio. El procesamiento de los datos brindados por el acelerómetro se realiza mediante un microcontrolador de 8 bits, de la firma Microchip Technology, el cual es el encargado de la digitalización de las variables de entrada y la transmisión de datos vía el puerto USB. Una vez obtenidos los datos en el computador, un software diseñado a medida, utilizando la herramienta de desarrollo de instrumentos virtuales NI LabWindows CVI de la firma National Instruments, permite la visualización de datos en tiempo real y almacenamiento de los mismos en el computador para cualquier análisis complementario posterior.

Los resultados obtenidos fueron muy alentadores, ya que este desarrollo nos permitió llevar a la práctica los contenidos aprendidos en varias asignaturas.

Introducción

La medición de la aceleración sobre sistemas mecánicos nos permite desarrollar técnicas que mitiguen o reduzcan las vibraciones, haciendo que la vida útil del sistema en estudio se maximice.

Independientemente de cuál fuese la fuente generadora de vibración, éstas provocarán diversos inconvenientes entre los cuales se destacan:

- Limitación en la velocidad de trabajo del sistema.
- Baja calidad de los productos elaborados por máquinas y herramientas.
- Contaminación sonora en el entorno.
- Interferencias en dispositivos de precisión cercanos a la fuente.

Debido al avance de la tecnología, actualmente se cuenta con sensores de aceleración de precisión a bajo costo y reducido tamaño, lo que nos permite cuantificar las vibraciones del sistema de manera sencilla y precisa.

Otra ventaja de la evolución tecnológica es la capacidad de digitalizar los datos mediante un microcontrolador para luego transmitirlos en tiempo real hacia un computador, en donde se podrán visualizar y almacenar para un posterior estudio estadístico.

Para tal fin se decidió abordar la implementación de un sistema de adquisición de datos de variables de aceleración brindados por un acelerómetro MEMS, que nos permitirá realizar un análisis cuantitativo del entorno de trabajo del sistema móvil bajo estudio.

Dispositivos y métodos

La medición de la aceleración se puede definir como el estudio de las oscilaciones de un sistema dinámico. Este se lleva a cabo con el objetivo de obtener los datos necesarios para el análisis estadístico a posteriori, el cual nos dará las pautas a seguir para la eliminación o reducción de las vibraciones del sistema en estudio.

El sistema de adquisición, almacenamiento y visualización de datos en el computador, está formado por cuatro bloques, los cuales se observan a continuación:

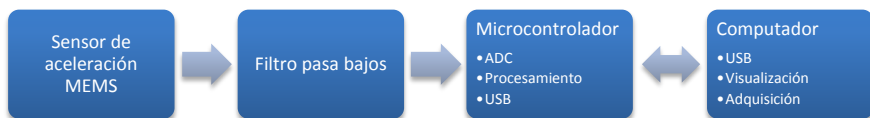


Figura 1. Diagrama del sistema de adquisición, almacenamiento y visualización de datos en computador.

En el desarrollo del proyecto se utilizó un sensor de aceleración MEMS, MMA7260Q[1], de la firma Freescale Semiconductors el cual fue seleccionado en base a sus principales características:

- Sensibilidad de (1.5g/2g/4g/6g).
- Consumo en modo de ahorro de energía 3uA.
- Bajo voltaje de operación 2.2V – 3.6V.
- Alta sensibilidad (800mV/g @1.5g).

Este sensor está compuesto por un acelerómetro capacitivo micro-maquinado acoplado a dispositivos de acondicionamiento y filtrado de la señal, como así también a elementos de compensación de temperatura y selección de la sensibilidad deseada como se observa en la figura 2.

El reducido tamaño del sensor nos permitió montarlo junto con los elementos de adquisición y procesamiento de datos, reduciendo el ingreso de señales espurias al convertidor A/D.

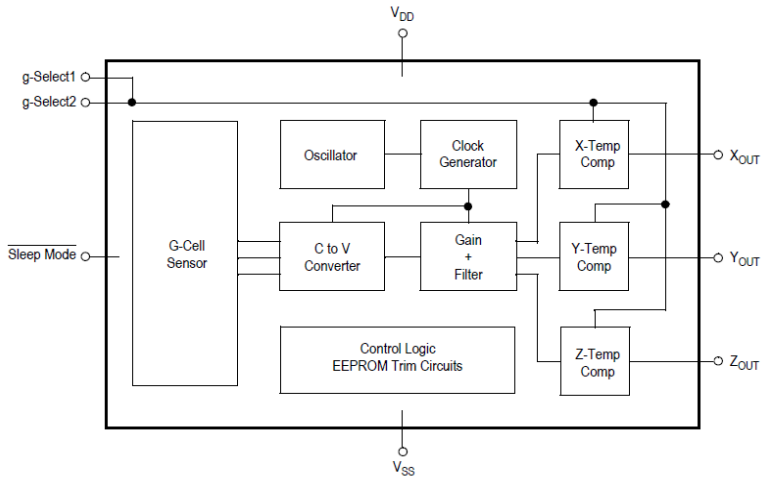


Figura 2. Diagrama interno del sensor de aceleración MEMS.

Luego del sensor de aceleración se ha acoplado un filtro pasa bajos RC de un polo con una frecuencia de corte de 1Khz con el objetivo de evitar el paso de señales de alta frecuencia hacia el convertidor analógico-digital. A continuación se observa el diagrama de bode del filtro en cuestión.

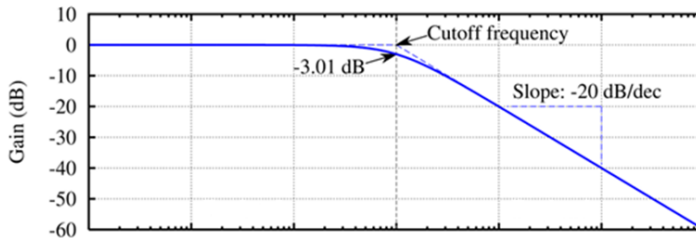


Figura 3. Diagrama de bode del filtro RC.

En el tercer bloque se encuentra el microcontrolador de 8 bits, PIC18F2550[2], que es el encargado de tomar la señal proveniente del filtro pasa bajos y realizar la digitalización por medio del convertidor analógico-digital que se encuentra integrado en el microcontrolador, el convertidor posee un circuito de muestra y retención como se ve en la figura 4, que le entrega la señal al convertidor de 10 bits y hasta 100K Sa/s, para luego procesarlos y transmitirlos en tiempo real mediante el puerto USB.

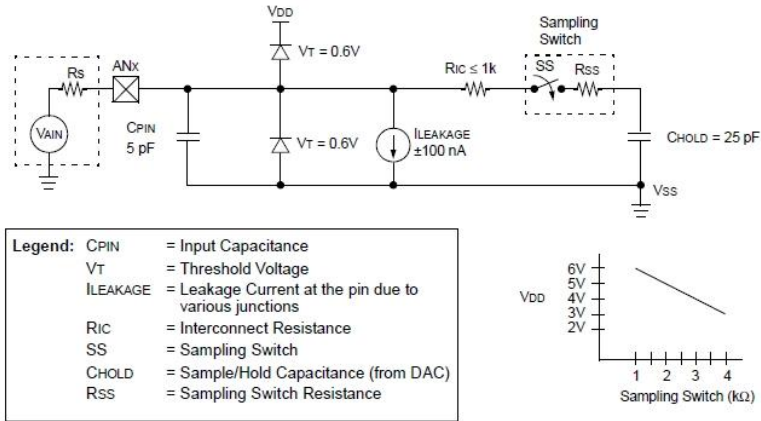


Figura 4. Circuito de muestra y retención del ADC.

Los datos recibidos desde el microcontrolador son adquiridos mediante un software a medida, desarrollado con la interfaz de instrumentos virtuales LabWindows CVI[3], el cual nos permitirá visualizarlos y almacenarlos para su posterior análisis.

Los datos se almacenan con el formato .csv permitiéndonos ordenarlos como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Ejemplo de presentación de datos almacenados.

UNIDAD VERTICAL: G-FORCE		
SENSIBILIDAD: 1.5G		
EJE X	EJE Y	EJE Z
0,156912	-0,053382	-1,104853
0,140735	-0,037206	-1,104853
0,140735	-0,004853	-1,104853
0,140735	-0,021029	-1,104853
0,140735	-0,021029	-1,121029
0,140735	-0,037206	-1,121029
0,140735	-0,037206	-1,121029
0,140735	-0,037206	-1,088676
0,140735	-0,037206	-1,104853
0,124559	-0,037206	-1,121029

Implementación

Como se mencionó anteriormente el sistema está compuesto por un acelerómetro de tres ejes, un filtro pasa bajos y un microcontrolador, interconectados como se muestra en la figura 5.

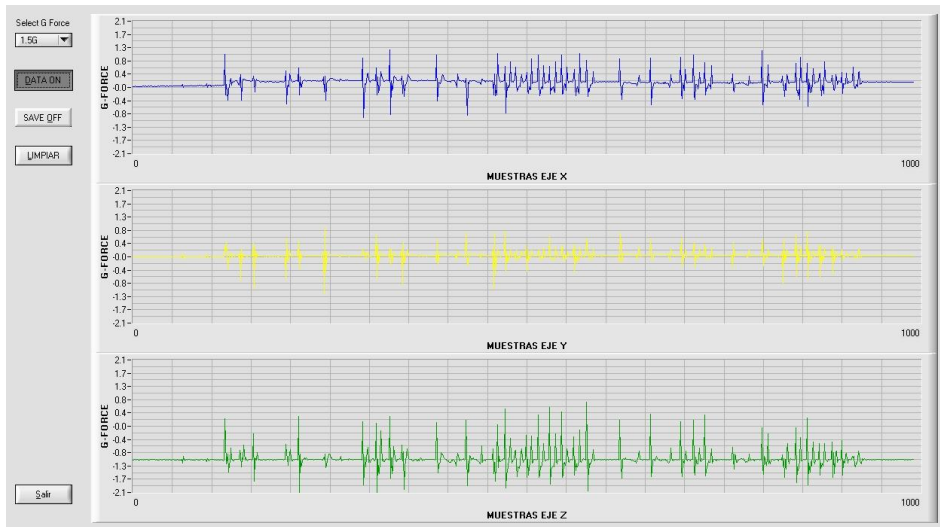


Figura 7. Software a medida en el computador.

Conclusión

Se concluye que el sistema nos ha permitido realizar un análisis con precisión aceptable de las aceleraciones aplicadas a un elemento en estudio. Además se logró la construcción a bajo costo y reducido tamaño.

El diseño de este dispositivo nos ha permitido integrar contenidos aprendidos en diversas asignaturas, además de estudiar, profundizar y avanzar sobre los conocimientos adquiridos durante la carrera. Cabe acotar que el dispositivo posee un gran campo de aplicación en estudios de vibración en la industria, análisis de seguridad del automotor y sismología, además de sentar las bases para desarrollos futuros en el análisis predictivo de fallas producidas como consecuencia de las variables de aceleración.

Referencias

[1] Hoja de datos del sensor de aceleración MMA7260Q de la firma Freescale Semiconductors. Disponible en: http://www.freescale.com/files/sensors/doc/fact_sheet/MMA7260QFS.pdf

[2] Hoja de datos del microcontrolador de 8 bits PIC18F2550 de la firma Microchip Technology. Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632e.pdf>

[3] Entorno de programación de instrumentos virtuales en lenguaje C de la firma National Instruments. Disponible en: <http://www.ni.com/lwcv/esa/>

CINÉTICA DE LA HIDROXIMETILACIÓN DE LA MELAMINA EN PRESENCIA DE METANOL

S. Perez ⁽¹⁾, A. Stola⁽¹⁾, D. A. Estenez ⁽²⁾ y V. V. Nicolau ^{(1),(2)}

(1) I+D Química, Fac. Reg. San Fco., U.T.N., San Francisco (2400), Córdoba, Argentina.

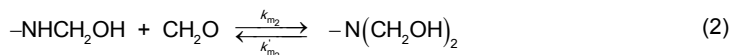
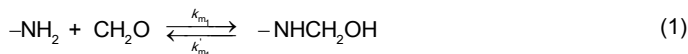
(2) INTEC (CONICET and U.N.L.), Güemes 3450, Santa Fe (3000), Argentina.

INTRODUCCIÓN

Las resinas base de melamina-formaldehído (MF) son una mezcla líquida de moléculas de 1, 2, y más anillos hidroximetilados obtenidos por hidroximetilación/condensación entre la melamina (M) y el formaldehído (F). Su principal aplicación es en la fabricación de compuestos por moldeo y de laminados decorativos. Si bien estas resinas han sido muy investigadas tanto por la industria como por la academia su cinética no ha sido aún totalmente dilucidada.

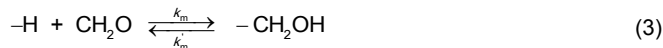
Industrialmente, las resinas bases de MF se producen en reactores tipo tanque agitado discontinuo. Primero, la M en polvo se agrega a la solución de formol (solución de F 37% p/p), y el pH se ajusta a 9.0. Luego la mezcla se calienta hasta 90 °C, y la hidroximetilación/condensación tiene lugar por 2 horas. Debido a que la hidroximetilación o "metilolación" ocurre principalmente durante los 10 primeros minutos de calentamiento, es importante estudiar tales reacciones a temperaturas entre 30 y 60 °C.

Desde el punto de vista cinético, el sistema es complejo. La hidroximetilación es rápida y reversible por debajo de los 60 °C mientras que la condensación es casi despreciable a bajas temperaturas. Durante la hidroximetilación el F reacciona con los grupos amino primarios y secundarios de la M para producir grupos mono- y dihidroximetilaminos según:¹

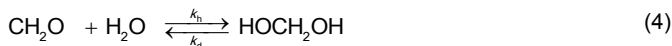


donde k_{m_1} y k_{m_2} , k'_{m_1} y k'_{m_2} corresponden a las constantes de metilolación/demetilolación primarias y secundarias, respectivamente; y sus expresiones de Arrhenius se muestran en la Tabla 1.²

Frecuentemente las Ecs. (1) y (2) son reemplazadas por una reacción global de metilolación /demetilolación:³



La solubilidad de la M (S) es relativamente baja (Tabla 1),⁴ y por lo tanto el sistema es heterogéneo a altas concentraciones de M. En el presente trabajo, se emplearon sistemas diluidos para garantizar condiciones homogéneas. La M reacciona sólo con F (CH₂O). Sin embargo, en soluciones acuosas, existe el siguiente equilibrio por el cual el F se encuentra principalmente como metilenglicol (HOCH₂OH).⁵



donde k_h y k_d son respectivamente las constantes de hidratación y deshidratación del F (Tabla 1).⁶

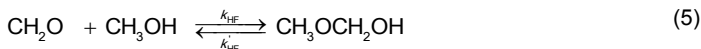
El metilenglicol parcialmente polimeriza como poli(oximetilenglicol) o "paraformaldehído".⁵ A medida que aumenta el peso molecular del paraformaldehído, disminuye su solubilidad.

Tabla 1. Solubilidad de la M, Constantes de Hidratación/Deshidratación del F [Ec. (4)] y Constantes de Metilación/Desmetilación Primarias y Secundarias [Ecs. (1) y (2)].

	Valores		Expresiones, T [°K]	Ref.
	38 °C	48 °C		
S [mol/L]	5.26×10^{-2}	7.68×10^{-2}	$0.0794 \cdot 10^{-1642/T+5.101}$	[4]
k_h , L/mol s	1064*	1289*	$\left[1 + 870 \times 10^{-pH} + 6.3 \times 10^{(pH-8)} \right] e^{(8.962-1913/T)}$	[6]
k_d , s ⁻¹	2.72*	4.27*	$\frac{\left[1 + 870 \times 10^{-pH} + 6.3 \times 10^{(pH-8)} \right] e^{(8.962-1913/T)}}{e^{-2.325 + 2579/T}}$	[6]
k_{m_1} [L/mol s]	6.53	10.9	$9.22 \times 10^7 e^{-5120/T}$	[2]
k'_{m_1} [s ⁻¹]	1.83×10^{-5}	5.33×10^{-5}	$1.51 \times 10^{10} e^{-10682/T}$	[2]
k_{m_2} [L/mol s]	0.225	0.370	$1.91 \times 10^6 e^{-4962/T}$	[2]
k'_{m_2} [s ⁻¹]	2.56×10^{-5}	5.89×10^{-5}	$1.06 \times 10^7 e^{-8319/T}$	[2]

* calculados a pH=9.0.

El metanol es una impureza típica del F ya que el mismo se produce por oxidación del metanol.⁵ El metanol reacciona con F para generar hemiformal (CH₃OCH₂OH) según:⁷



donde k_{HF} y k'_{HF} son las constantes de formación del hemiformal y de degradación del hemiformal, respectivamente. En soluciones concentradas, se generan hemiformales superiores por polimerización del CH₃OCH₂OH. En las soluciones de formol comercial, se agrega usualmente entre un 5% y un 15% de metanol como estabilizante para generar hemiformales solubles en agua. La generación de hemiformales aumenta la depolimerización y la solubilidad de los glicoles evitando su precipitación.⁵

Se han desarrollado modelos que simulan la hidroximetilación/condensación de la M.^{2,8} Sin embargo, ninguno tiene en cuenta la reacción secundaria del F con el metanol. En este trabajo se estudia teórica y experimentalmente la hidroximetilación de la M en sistemas diluidos homogéneos en presencia de metanol. A tales efectos se llevan a cabo distintos experimentos donde se emplean soluciones de F con distinto contenido en metanol y se varía la temperatura de reacción. Además, se desarrolla un modelo matemático que incorpora al metanol en la cinética de hidroximetilación. Se observó un leve efecto desactivante del metanol en los sistemas diluidos estudiados que podría adquirir importancia en los sistemas concentrados industriales. El modelo desarrollado permitirá la optimización del proceso de síntesis de resinas bases de MF de la empresa Centro S.A. productora de laminados decorativos de la ciudad de San Francisco (Córdoba, Argentina) así como el de otras empresas interesadas en estos resultados.

TRABAJO EXPERIMENTAL

Se llevaron a cabo 4 experimentos con una relación molar inicial de reactivos $[F_1]^0/[M]^0 = 8$ y pH=9.0±0.5 a temperaturas de 38 °C y 48 °C, respectivamente. Se emplearon concentraciones iniciales de M menores a su solubilidad (sistemas homogéneos) y bajas temperaturas con el objeto de desfavorecer las reacciones de condensación. Además, se emplearon sistemas diluidos con el fin de desfavorecer las reacciones de polimerización del F y de formación de hemiformales superiores. Los procedimientos experimentales se muestran en la Tabla 2.

Para las reacciones se emplearon: melamina GPH 99.8% p/p (OCI, Holanda), formol 37.1% p/p (Alto Paraná, Argentina) y paraformaldehído 91% p/p (Fydsa S.A., España).

Se preparó una solución de formol 19% p/p con bajo contenido en metanol por depolimerización del paraformaldehído sólido. A tales efectos, 23.06 g del sólido se agregaron a 100 mL de agua destilada. Se ajustó a pH=10 con NaOH 2 N y se calentó a $T=70\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta depolimerización total del paraformaldehído. Se determinó la densidad de la solución a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ por picnometría y la concentración de F mediante la técnica del sulfito.⁵

El contenido en metanol (% p/p) se determinó a partir de la siguiente expresión:⁹

$$\% \text{CH}_3\text{OH} = (1.18036 \% \text{F}) - (386.228 d_{20^{\circ}\text{C}}) + 386.253 \quad (6)$$

donde %F corresponde a la concentración de F expresada en % p/p y $d_{20^{\circ}\text{C}}$ corresponde a la densidad de la solución de F a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A efectos de obtener el valor de la densidad a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, se aplicó el siguiente coeficiente de corrección:⁹

$$d_{20^{\circ}\text{C}} = d_T + 0.00055(T - 20) \quad (7)$$

donde d_T es la densidad de la solución a la temperatura $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tabla 2. Experimentos 1-4 a pH = 9.0 ± 0.5 ; $[F_T]^{\circ}/[M]^{\circ} = 8.0$; y $[H_2O]^{\circ} = 54.6\text{ mol/L}$. Procedimientos Experimentales y Mediciones de $[F_T]$.

Exp. 1		Exp. 2		Exp. 3		Exp. 4	
<i>a) Procedimientos Experimentales</i>							
$T\text{ }[^{\circ}\text{C}] = 38$		$T\text{ }[^{\circ}\text{C}] = 48$		$T\text{ }[^{\circ}\text{C}] = 38$		$T\text{ }[^{\circ}\text{C}] = 48$	
$[F_T]^{\circ} = 0.412$		$[F_T]^{\circ} = 0.400$		$[F_T]^{\circ} = 0.417$		$[F_T]^{\circ} = 0.409$	
$[M]^{\circ} = 0.0514$		$[M]^{\circ} = 0.0514$		$[M]^{\circ} = 0.0513$		$[M]^{\circ} = 0.0511$	
$[\text{CH}_3\text{OH}]^{\circ} = 0.0227$		$[\text{CH}_3\text{OH}]^{\circ} = 0.0130$		$[\text{CH}_3\text{OH}]^{\circ} = 0.0488$		$[\text{CH}_3\text{OH}]^{\circ} = 0.0478$	
<i>b) Mediciones Volumétricas</i>							
$t\text{ [min.]}$	$F_T\text{ [mol/L]}$	$t\text{ [min.]}$	$F_T\text{ [mol/L]}$	$t\text{ [min.]}$	$F_T\text{ [mol/L]}$	$t\text{ [min.]}$	$F_T\text{ [mol/L]}$
2	0.376	2	0.356	2	0.391	2	0.382
15	0.369	15	0.341	15	0.378	15	0.354
30	0.354	30	0.315	30	0.363	30	0.331
60	0.334	60	0.288	60	0.348	60	0.309
90	0.321	90	0.276	90	0.330	90	0.298
120	0.305	120	0.268	120	0.324	120	0.285
180	0.288	180	0.255	180	0.303	180	0.270
240	0.273	240	0.250	240	0.288	240	0.267
300	0.264	300	0.248	300	0.285	300	0.264
360	0.260	360	0.248	360	0.275	360	0.262

En los Exps 1 y 2 se emplearon soluciones de F 19.5 y 19.1% p/p de densidades 1.0565 y 1.0565 g/mL ($25/25\text{ }^{\circ}\text{C}$) con 1.2 y 0.7% p/p de metanol, respectivamente. En los Exps 3 y 4 se empleó solución de formol 37.1% comercial de densidad 1.1007 g/mL con 5.1% p/p de metanol según datos provistos por el proveedor.

Se tomaron muestras a lo largo de las reacciones y se determinó el contenido de F mediante la técnica volumétrica del sulfito.⁵

A tales efectos se hizo reaccionar la muestra (5 mL) con 25 mL de sulfito de sodio 1 M. El F reacciona con el sulfito de sodio en exceso generando hidróxido de sodio según:



Esta reacción es muy rápida de modo tal que los equilibrios de las Ecs. (4) y (5) se desplazan totalmente a la izquierda, transformándose todo el metilenglicol y el hemiformal en F, respectivamente.¹⁰ De esta manera la técnica mide concentración de F total $[F_T]$.

$$[F_T] = [F] + [\text{HOCH}_2\text{OH}] + [\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{OH}] \quad (9)$$

La solución obtenida de la reacción con el sulfito de sodio se titula con una solución de HCl 0.1 N a fin de determinar la cantidad de NaOH empleando timolftaleína como indicador. Los resultados del contenido de F_T para los Exps. 1-4 se muestran en la Tabla 2 y en la Fig.1.

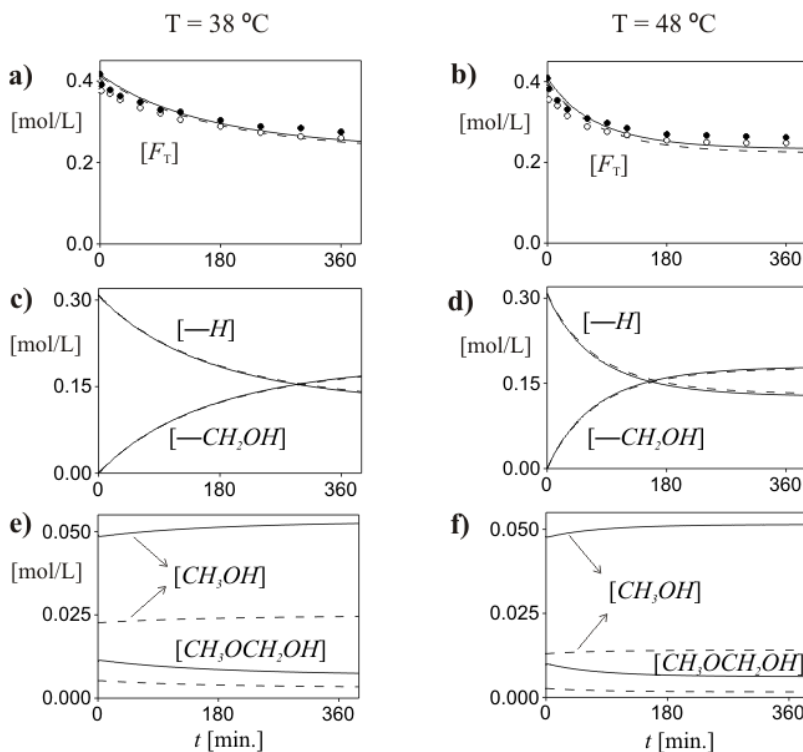


Fig. 1 . Evoluciones de: a) y b) $[F_T]$; c) y d) $[-H]$ y $[-\text{CH}_2\text{OH}]$; e) y f) $[\text{CH}_3\text{OH}]$ y $[\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{OH}]$ a 38 °C y 48 °C, respectivamente. Los puntos corresponden a las mediciones y las líneas a las simulaciones de los Exps. 1 y 2 (\circ , - - -) y Exps. 3 y 4 (\bullet , —). $[F_T]^0/[M_T]^0 = 8.0$; $[\text{H}_2\text{O}]^0 = 54.6$ mol/L, y $\text{pH} = 9.0 \pm 0.5$.

MODELADO MATEMÁTICO

Se adoptó el mecanismo de reacción basado en las Ecs. (3), (4), y (5) para sistemas diluidos homogéneos. El modelo matemático resultante consiste en los balances de masa para las distintas especies y se muestra a continuación:

$$\frac{d[F]}{dt} = k'_m[-CH_2OH] - k_m[-H][F] + k_d[HOCH_2OH] - k_h[H_2O][F] + k'_{HF}[CH_3OCH_2OH] - k_{HF}[CH_3OH][F] \quad (10)$$

$$\frac{d[HOCH_2OH]}{dt} = k_h[F][H_2O] - k_d[HOCH_2OH] \quad (11)$$

$$\frac{d[H_2O]}{dt} = k_d[HOCH_2OH] - k_h[F][H_2O] \quad (12)$$

$$\frac{d[CH_3OH]}{dt} = k'_{HF}[CH_3OCH_2OH] - k_{HF}[F][CH_3OH] \quad (13)$$

$$\frac{d[CH_3OCH_2OH]}{dt} = k_{HF}[F][CH_3OH] - k'_{HF}[CH_3OCH_2OH] \quad (14)$$

$$\frac{d[-H]}{dt} = k'_m[-CH_2OH] - k_m[F][-H] \quad (15)$$

$$\frac{d[-CH_2OH]}{dt} = k_m[F][-H] - k'_m[-CH_2OH] \quad (16)$$

Las hipótesis adoptadas son: a) volumen de reacción constante; y b) equilibrio de hidratación/deshidratación instantáneo [Eq. (4)] con lo cual la expresión de la Ec. (9) resulta:

$$[F_T] = [F] + K_{MG}[H_2O][F] + [CH_3OCH_2OH]; \quad \text{con } K_{MG} = k_h / k_d \quad (17)$$

donde K_{MG} es la constante de equilibrio de hidratación/deshidratación del F.¹¹ Las Ecs. (10)-(16) representan los balances de masa del F, metilénol, agua, metanol, hemiformal, hidrógenos reactivos, y metiloles.

En la Tabla 1 se observa que $k_h \gg k_m$, k_{m_2} y $k_d \gg k'_{m_1}$, k'_{m_2} con lo cual las reacciones de hidratación/deshidratación de la Ec. (4) son considerablemente más rápidas que las reacciones de metilolación/demetilolación de las Ecs. (1) y (2). De esta manera la Ec. (4) se asume instantánea.

Los parámetros del modelo fueron tomados de la literatura y se muestran en la Tabla 3 donde K_{HF} es la constante de equilibrio de formación del hemiformal [Ec. (5)], y k_m y k'_m son las correspondientes constantes de metilolación y de demetilolación globales [Ec. (3)]. Nótese que las expresiones de los Arrhenius para las constantes k_m y k'_m se obtuvieron a partir de los valores promedio de las constantes calculadas con las expresiones de k_{m_1} y k_{m_2} , k'_{m_1} y k'_{m_2} (Tabla 1) a 38 y 48 °C, respectivamente.

El programa de computación fue escrito en Matlab y el sistema de ecuaciones se resolvió mediante la resolución de un sistema de ecuaciones no lineal. Los resultados de simulación se muestran en la Fig. 1.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Teniendo en cuenta que no se ha efectuado un nuevo ajuste de parámetros ya que se emplearon constantes cinéticas publicadas, los resultados han mostrado una muy buena concordancia con las mediciones.

Como era de esperar en las Figs. 1a) y b) se observa que la velocidad de consumo del F_T aumenta con la temperatura. Por otra parte, en las Figs, 1a)-d) se observa un leve efecto desactivante del metanol sobre la hidroximetilación de la M. Este efecto podría adquirir importancia en sistemas concentrados como los industriales.

La concentración de metanol aumenta a expensas de la disminución de la concentración del hemiformal como producto del consumo de F durante la hidroximetilación [Figs. 1 e) y f)].

Tabla 3. Parámetros del Modelo

	Valores		Expresiones ,T [°K]	Referencia
	38 °C	48 °C		
K_{MG} [mol/L]	391	302	$e^{-2.325 + 2579/T}$	[11]
$K_{HF} = k_{HF}/k'_{HF}$ [mol/L]	11975	8424	$e^{-1.902 + 3512/T}$	[12]
k'_{HF} [s ⁻¹]	6.87×10^{-3}	1.13×10^{-2}	$e^{(10.90 - 4939/T)}$	[13]
k_m [L/mol s]	3.38^*	5.64^*	$4.69 \times 10^7 e^{-5115/T}$	[2]
k'_m [s ⁻¹]	$2.20 \times 10^{-5}^{**}$	$5.61 \times 10^{-5}^{**}$	$5.87 \times 10^8 e^{-9621/T}$	[2]

* calculado como el promedio de las constantes k_{m_1} y k_{m_2} (Tabla 1).

** calculado como el promedio de las constantes k'_{m_1} y k'_{m_2} (Tabla 1).

CONCLUSIONES

Se estudió teórica y experimentalmente la hidroximetilación de la M para sistemas diluidos homogéneos en presencia de metanol. Se desarrolló un nuevo modelo matemático que permite predecir el efecto del metanol sobre la hidroximetilación. Las predicciones teóricas están en una aceptable concordancia con las mediciones. Para las condiciones estudiadas se observó un leve efecto desactivante del metanol sobre la hidroximetilación de la M que podría incrementarse en sistemas industriales.

En futuros trabajos se estudiará el efecto del metanol sobre la hidroximetilación/condensación tanto para sistemas diluidos como concentrados.

REFERENCIAS

- Okano, M.; Ogata, Y. *J. Am. Chem. Soc.*, **74**, 5128 (1952).
- Nicolau, V.V., Estenez, D.A y G.R. Meira, *J. Appl. Polym. Sci.*, **113**, 1017-1029 (2009).
- Gordon, M.; Halliwell, A.; Wilson, T. *J. Appl. Polym. Sci.*, **10**, 1153 (1966).
- "Melamine Crystal: Properties, Chemistry, Analytical Methods, Toxicology", Brochure by Melamine Chemicals, Inc; Donalsonville, LA 70346, USA (1980).
- Walker J. F. "Formaldehyde" 3rd edition, R. E. Krieger Publishing Company Huntington, New York, 1964.
- Schecker, H. G.; Schulz, G., *Z. Phys. Chem. NF*, **65**, 221-224 (1969).
- Dankelman, W.; Daemen, J. M. H.; de Breet, A. J. J.; Mulder, J. L.; Huysmans, W. G. B.; de Wit, J. *Angew. Makromol. Chem.*, **54**, 187 (1976).
- Nastke, R., Dietrich, K., Reinisch, G., Rafler, G., *J. Macromol. Sci.-Chem.*, **A23**(5), 579 (1986).
- IOP-8.2.3-QL-32. Versión:05, Alto Paraná (2010).
- Winkelman, J. G. M.; "Absorption of Formaldehyde in water", trabajo de tesis (2003).
- Siling, M. I.; Akselrod, B. Ya, *russ. J. Phys. Chem.*, **42**, 1479-1482 (1968).
- Hahnenstein, I.; Albert, M.; Hasse, H.; Kreiter, C. G.; Maurer, G., *Ind. Eng. Chem. Res.*, **34**, 440-450, (1995).
- Rudnev, A. V.; Kalyazin, E. P.; Kalugin, K. S., Kovalev, G. V., *Russ. J. Phys. Chem.*, **51**, 1519-1521 (1977).

INDUCCIÓN DE MACRO-OPERADORES DE REPARACIÓN EN SISTEMAS INTERACTIVOS DE RE-SCHEDULING

Paula A. Toselli¹, Jorge A. Palombarini², Ernesto C. Martínez³

¹*Departamento de Sistemas, (UTN-FRVM), Av. Universidad 450, Villa María 5900, Argentina.*

²*GISIQ (UTN-FRVM), Av. Universidad 450, Villa María 5900, Argentina.*

³*INGAR (CONICET-UTN), Avellaneda 3657, Santa Fe, S3002 GJC, Argentina.*

Con la tendencia actual hacia los sistemas cognitivos de manufactura para tratar con eventos imprevistos y perturbaciones que constantemente demandan una respuesta rápida a eventos disruptivos, la integración de capacidades de aprendizaje/razonamiento e interactividad es fundamental para la reprogramación en tiempo real de cronogramas de tareas en el piso de planta, teniendo en cuenta distintos objetivos y metas de reparación. El presente trabajo propone un mecanismo para la generación, actualización e incorporación automática de conocimiento experto en la reparación de cronogramas de tareas a través de interacción con un sistema de aprendizaje utilizando transiciones simuladas de estados abstractos de un *schedule*. Representaciones déicticas de los cronogramas de tareas basadas en puntos focales son utilizadas para inducir secuencias de operadores de reparación (macro-operadores) guiadas por objetivos para enfrentar eventos no planificados y perturbaciones operacionales. Un ejemplo industrial donde se necesita reprogramar tareas debido al arribo de una nueva orden es discutido utilizando el prototipo SmartGantt para realizar la re-planificación interactiva en tiempo real y la integración automática en el sistema del conocimiento inducido a partir de la interacción entre el experto y el sistema.

Introducción

La tendencia emergente hacia los sistemas cognitivos de planificación y control de la producción, ha producido que la introducción de mecanismos de aprendizaje y la generación/ actualización en línea de conocimiento para *re-scheduling* utilizando reglas heurísticas que puedan ser aplicadas en tiempo real tiene una importancia crítica en cualquier estrategia de gestión de disrupciones, para garantizar el cumplimiento de *due dates* de órdenes en curso [1]. En este contexto, son esenciales atributos tales como reactividad y rapidez de respuesta del sistema de producción, por lo cual es clave generar *schedules* satisfactorios en lugar de óptimos, en un tiempo de computación razonable [2]; no obstante, el *re-scheduling* puramente automático no es realista, debido a que no contempla el importante rol del experto humano, quien posee la responsabilidad final de todas las decisiones y debe ser involucrado en el proceso de solución ([2],[3]).

Por consiguiente, las mencionadas circunstancias han generado la necesidad de diseñar e implementar mecanismos que proporcionen al sistema de *re-scheduling* la capacidad de integrar en sus políticas de reparación aprendidas vía simulación intensiva, tácticas inducidas a partir de reparaciones realizadas interactivamente por operadores humanos expertos, quienes son capaces de reprogramar una gran cantidad de tareas y recursos aprendiendo de manera incremental una estrategia de reparación que utiliza como abstracción un número de objetos (tareas, recursos) con atributos y relaciones (precedencia, sincronización) entre ellos [4]. De esa manera, en el presente trabajo se propone un mecanismo de inducción automática vía aprendizaje inverso, de macro-operadores de reparación que pueden ser utilizados en estrategias de *re-scheduling* en tiempo real. Basados en representaciones déicticas de los estados del *schedule* ([4],[5]), se han empleado micro-operadores locales que permiten al operador humano efectuar acciones correctivas sobre el *schedule* actual. La inducción de conocimiento de control sobre la secuencia de aplicación de dichos operadores, es realizada a través de un algoritmo de *Inverse Reinforcement Learning* (IRL) ([6],[7]), utilizando un simulador de estados del *schedule*, en el cuál una instancia del mismo se modifica interactivamente, hasta arribar a un estado objetivo o meta de reparación. El conocimiento adquirido es almacenado como un nuevo macro-operador disponible para futuras reparaciones automáticas, cuyo valor de aplicación se actualiza utilizando un algoritmo de *Reinforcement Learning* ([8]).

Una implementación prototipo del enfoque propuesto es presentada, utilizando Visual Basic.NET 2008 y Matlab R2011. Como ejemplo representativo, el prototipo es utilizado para inducir conocimiento de *re-scheduling* en una planta batch; dicho conocimiento, se integra en

políticas aprendidas vía simulación, demostrando las ventajas de su incorporación a la política de reparación, reflejadas en mejoras sustanciales en la performance del agente de re-scheduling.

Re-scheduling basado en reparación

La inducción automática de macro-operadores de reparación presentada en el presente trabajo se ha desarrollado como característica adicional en el marco de una arquitectura basada en reparación que se muestra en la Fig. 1, implementada por el prototipo SmartGantt [4] y embebida en una estructura más general que incluye una función ERP (*Enterprise Resource Planning System*) y un sistema de control de ejecución MES (*Manufacturing Execution System*) con una infraestructura que incluye capacidades de comunicación y control, e integra capacidades cognitivas artificiales en recursos y procesos para incluir por diseño flexibilidad y adaptabilidad en los sistemas de producción [9]. En este enfoque, el conocimiento para rescheduling en tiempo real utilizando una secuencia óptima de operadores de reparación se genera de dos maneras distintas: a través de refuerzos y micro-operadores utilizando un simulador de estados del schedule, o a través de interacción con el experto humano (induciendo macro-operadores en modo *expert*), actualizando ambas la misma base de conocimiento para su posterior consulta automática.



Figura 1. Arquitectura Basada en Reparación

En el modo *expert*, una instancia del schedule es modificada interactivamente, a través de la ejecución de acciones correctivas utilizando una secuencia de operadores de reparación hasta que un determinado objetivo se alcanza. En cada episodio de aprendizaje, SmartGantt recibe información del estado actual s del schedule (representado a través de un vector de *features*), y entonces proporciona una lista de operadores de reparación al experto humano. Posteriormente, el operador seleccionado es aplicado al schedule actual, resultando en nuevo estado del schedule, hasta lograr al estado objetivo. A continuación, empleando un algoritmo de IRL el sistema aprende la función de *reward* utilizada por el experto en la reparación interactiva, y almacena el conocimiento adquirido en su Librería de Micro/macro-operadores. En modo simulación, el proceso es similar, excepto por el hecho de que la reparación se realiza de manera automática por el sistema, utilizando los macro/micro-operadores disponibles.

```

for each  $s \in S$  and  $a \in A$  do
  initialize table entre  $Q(s, a)$ 
end for
generate a starting state  $s$ 
repeat
  select an action  $a$  and execute it
  receive an immediate reward  $r = r(s, a)$ 
  observe the new state  $s'$ 
  update the table entry for  $Q(s, a)$  as follows:
   $Q(s, a) \leftarrow r + \gamma \max_b Q(s', b)$ 
   $s \leftarrow s'$ 
until no more learning episodes
  
```

Figura 2. Algoritmo Q-Learning Básico

La evaluación de la calidad resultante del schedule después de que un dado operador de reparación ha sido aplicado se realiza en SmartGantt a través de una función de *reward* $r(s)$. El sistema de aprendizaje actualiza entonces su función de acción-valor $Q(s,a)$ que estima el valor o utilidad de aplicar el macro/micro-operador de reparación en un estado del schedule s dado. Tal actualización es realizada utilizando un algoritmo de *Reinforcement Learning* (RL) [8] como *Q-Learning*, el cual se muestra en la Fig. 2. Acumulando suficiente experiencia a partir de muchas transiciones simuladas, SmartGantt es capaz de aprender una política óptima para seleccionar el mejor macro/micro-operador de reparación en cada estado del schedule.

El principal beneficio de aplicar técnicas de RL tales como el algoritmo *Q-Learning* para la búsqueda de conocimiento de control para la mejora de la calidad y la eficiencia del *re-scheduling* en tiempo real es que no se depende de la disponibilidad de expertos en el dominio (aunque permite incorporar su conocimiento, como se muestra en el presente trabajo), la adaptación online a un entorno dinámico y la posibilidad de utilizar abstracciones que son necesarias para tratar con espacios de estados extensos (e.g. cadenas de suministro) [4]. Para reparar un schedule, SmartGantt utiliza una función objetivo $G:S \rightarrow \{true,false\}$ la cual define cuáles estados en el schedule reparado definen la meta de la reparación, e.g. estados donde la tardanza total es menor o igual a 1 día de trabajo. Usualmente, una función de precondition como *pre*: $S \times A \rightarrow \{true, false\}$ es utilizada para especificar cuál subconjunto de operadores de reparación puede ser aplicado en cada estado posible del schedule para tener en cuenta capacidades del recurso y restricciones de precedencia (e.g., recetas de producto) así como también acciones de reparación alternativas tales como dividir una tarea, unir dos tareas, intercambiar tareas entre recursos, etc.

El objetivo de una tarea de reparación puede establecerse como: “dado un estado inicial s_1 para el schedule, encontrar una secuencia de operadores de reparación a_1, a_2, \dots, a_n con $a_i \in A$ tal que $goal(\delta(\dots\delta(s_1, a_1)\dots, a_n)) = true$ donde δ es la función de transición, la cual es únicamente revelada al agente aprendiz a través de simulación.” La función de *reward* mencionada se utiliza para traducir el objetivo en una señal de refuerzo para guiar la búsqueda de una política que seleccione el mejor operador de reparación en cada uno de los estados posibles del schedule.

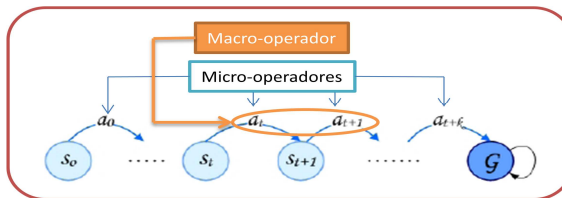


Figura 3. Micro/macro-operadores

Como puede observarse en la Fig. 3, los macro-operadores constituyen secuencias finitas de micro-operadores que pueden aplicarse de manera independiente o combinada con otros micro/macro-operadores. Basándose en la función de *reward* y simulaciones de transición de estados, la política óptima $a_i = \pi^*(s_i)$ puede ser aproximada utilizando el algoritmo Hedger en combinación con Locally Weighted Regression [10], y luego ser empleada para computar la secuencia de acciones que permite alcanzar un schedule reparado, mejorando la capacidad de respuesta en el piso de planta para manipular eventos no planificados y gestionar perturbaciones [4]. A su vez, diferentes objetivos operacionales y de performance, así como también preferencias del usuario, y tácticas de reparación *especializadas* pueden ser provistas a SmartGantt por el experto humano. Se proveen además características de visualización, soluciones alternativas y capacidades de análisis de forma que el usuario pueda decidir en forma totalmente interactiva utilizando una interfaz gráfica que le permite alcanzar objetivos de *re-scheduling* alternativos.

Inverse Reinforcement Learning

Los métodos de *Inverse Reinforcement Learning* (IRL) [6] aprenden una función de *reward* en un Proceso Decisorio Markoviano (PDM) a partir de demostraciones de los expertos, permitiendo la generalización de la política de los mismos a situaciones nunca vistas. El desafío central en IRL es encontrar una función de *reward* con una estructura significativa que represente la tarea de manera compacta y portable. En el presente trabajo se ha utilizado el algoritmo *Gaussian Process Inverse Reinforcement Learning* (GPIRL) [7], que extiende el modelo de *Gaussian Processes* (GP) para aprender funciones de *reward* altamente no lineales que de manera consistente capturen el

comportamiento demostrado por el experto. El algoritmo GPIRL únicamente necesita observar las acciones del experto, y no asume que el mismo actúa necesariamente de manera óptima. Los hiperparámetros del kernel en GPs aprendidos capturan la estructura del *reward* incluyendo la relevancia de cada componente del estado. Una vez aprendido, el GP puede ajustar el *reward* para el espacio de estados, y proporcionar predicciones para estado no visitados, combinando razonamiento probabilístico acerca del comportamiento estocástico del experto con la habilidad de aprender el *reward* como una función no lineal utilizando ejemplos posiblemente sub-óptimos, como es el caso en el *re-scheduling* de tareas. De esa manera, el GP provee un método para aprender los hiper-parámetros del mencionado kernel así como también la estructura de la función (desconocida) de *reward*. Al efecto se ha utilizado:

$$\log P(D|r) = \sum_i \sum_t \log P(a_{i,t} | s_{i,t}) = \sum_i \sum_t (Q_{s(i,t)a(i,t)}^r - V_{s_{i,t}}^r) \quad (1)$$

para especificar una distribución sobre las salidas del GP y aprender los valores de salida \mathbf{u} y la función kernel para predecir los *rewards* asociados con el vector de *features* X_u . Los *rewards* para estados no incluidos en los datos de entrenamiento son inferidos por el GP. Los hiperparámetros θ del kernel son aprendidos para modelar la estructura del *reward*. Los valores más probables de \mathbf{u} y θ se encuentran maximizando su probabilidad a partir del conjunto D de demostraciones del experto (Ec. 2):

$$P(u, \theta | D, X_u) \propto P(D, u, \theta | X_u) = \left[\int_r \frac{P(D|r)}{IRL} \frac{P(r|u, \theta, X_u)}{GP \text{ posterior}} dr \right] \frac{P(u, \theta | X_u)}{\text{probabilidad GP}} \quad (2)$$

El *log* de $P(D|r)$ se obtiene mediante la Ec. (1), el GP posterior $P(r|u; \theta; X_u)$ es la probabilidad de una determinada función de *reward* a partir de los valores actuales de \mathbf{u} y θ , y $P(u; \theta | X_u)$ es la probabilidad previa de una particular asignación de \mathbf{u} y θ . El *log* de $P(u; \theta | X_u)$ es el *log* de probabilidad marginal del GP, el cual favorece el uso de funciones de kernel simples y valores de \mathbf{u} que se ajusten a la matriz kernel actual (Ec. 3):

$$\log P(u, \theta | X_u) = -\frac{1}{2} u^T K_{u,u}^{-1} u - \frac{1}{2} \log |K_{u,u}| - \frac{n}{2} \log 2\pi + \log P(\theta) \quad (3)$$

El último término $\log P(\theta)$ es un hiperparámetro, y las entradas de la matriz de covarianza $K_{u,u}$ son establecidas por la función kernel. Para determinar la relevancia de cada *feature* se ha utilizado un kernel de Detección de Relevancia Automática (DRA) con hiperparámetros $\theta = \{B, \Delta\}$ (Ec. 4):

$$k(x_i, x_j) = \beta \exp\left(-\frac{1}{2}(x_i - x_j)^T \Lambda (x_i - x_j)\right) \quad (4)$$

El hiperparámetro B es la varianza total, y la matriz diagonal Δ especifica el peso de cada *feature*. Cuando Δ es aprendida, los *features* menos relevantes reciben pesos bajos, y los más relevantes reciben pesos altos.

Caso de Estudio Industrial

La aplicación prototipo SmartGantt utilizada como base para el desarrollo realizado en el presente trabajo ha sido implementada en Visual Basic .NET 2008 Development Framework 3.5 y Matlab R2011 corriendo bajo Windows 7, y se describe en detalle en [4]. Además, se ha empleado el *toolkit* IRL descrito en [7]

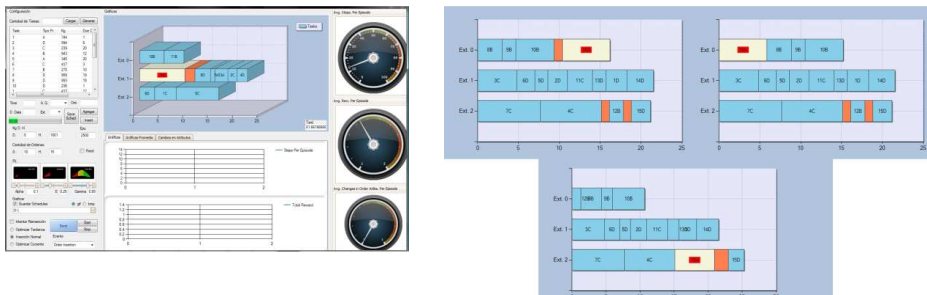


Figura 4. Pantalla del prototipo (izquierda) y una demostración del experto (derecha)

La Fig. 4 muestra la interfaz gráfica de usuario para la aplicación desarrollada, así como también uno de los 8 ejemplos de reparación interactiva proporcionados por el experto. Originalmente el prototipo admite dos modos de uso: *training* y *consult*. Durante el modo *training* SmartGantt aprende a reparar *schedules* a través de transiciones simuladas, y el conocimiento generado es codificado en la función *Q*. La explotación del conocimiento de *re-scheduling* es realizada en el modo *consult*. Adicionalmente, para el presente trabajo se ha incorporado un tercer modo de operación denominado *expert*, en el cual el sistema presenta de manera sucesiva al operador humano una serie de *schedules* que deben ser reparados interactivamente ante el arribo de una nueva orden que necesita ser insertada sin incrementar la tardanza presente en el sistema. Una vez finalizado el proceso de reparación, SmartGantt aplica el algoritmo GPIRL a través de una interfaz COM con Matlab. Para implementar la funcionalidad necesaria se ha creado una variable tipo "struct" que contiene los ejemplos a correr en el algoritmo en forma de celdas estado/acción, y otra estructura interna donde se definen los parámetros del PDM. Para correr los ejemplos de entrenamiento se ha empleado el módulo "Human Control/runtest", que permite ejecutar un script con el entrenamiento deseado estableciendo los parámetros correspondientes para cada modelo. Para el presente trabajo se ha utilizado un 'standardmdp' parametrizado con las variables mencionadas. Los resultados arrojados por el script han sido "parseados" utilizando las librerías ExtremeOptimization.NET[12], y agregados de manera dinámica a la Librería de operadores para ser utilizados luego en modo *training*.

Un ejemplo de problema propuesto en [11] se ha considerado para ilustrar el uso del prototipo en modo *expert* para adquirir conocimiento de *re-scheduling* en una planta batch. La misma está compuesta por 3 extrusoras semi-continuas que procesan órdenes de clientes para 4 tipos de productos. Cada extrusora posee características distintivas, de manera tal que no todas pueden procesar todos los productos. Adicionalmente, los rates de procesamiento dependen tanto del recurso como del producto que está siendo procesado, y para mayor detalle en la simulación en base a las relaciones de precedencia se han introducido tiempos de set-up destinados a la limpieza de los recursos [4]. El estado del schedule se ha caracterizado a través de un vector de 7 *features* locales relacionados con la tarea que se toma como foco de aplicación de los operadores, y 10 *features* globales relacionados con la totalidad del schedule [5]

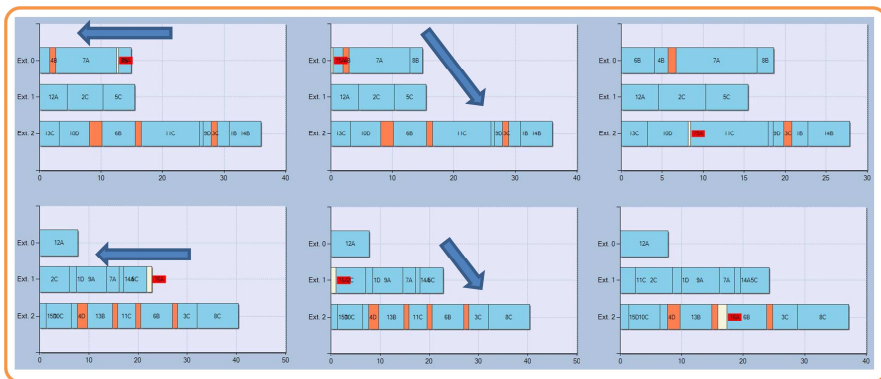


Figura 5. Dos ejemplos de la aplicación en modo *training* del macro-operador *LeftJump-DownRightSwap* inducido a partir de la interacción con el experto.

En la Fig. 5 pueden observarse los beneficios de la aplicación del macro-operador *LeftJump-DownRightSwap* aprendido, que le permite al sistema calcular el valor *Q* de la utilización de la secuencia completa como si se tratara de un solo operador. La figura demuestra que el macro-operador inducido puede ser aplicado en situaciones no necesariamente similares. Por caso, en la sección superior la tarea focal se encuentra en el primer recurso, en la inferior en el segundo, la cantidad total de tareas y la tardanza es distinta, etc. En el primer caso la aplicación del macro-operador ha logrado reducir la tardanza total en 3.23 h. ($TI=11.50$ h. y $TF=8.27$ h.) y en el segundo 1.39 h. ($TI=13.12$ h. y $TF=11.73$ h.) en ambos casos incluyendo la nueva orden.

Conclusión

Se ha presentado un enfoque novedoso para la inducción interactiva de conocimiento de *re-scheduling* en la forma de macro-operadores, y su implementación en la aplicación prototipo

SmartGantt. Dicho conocimiento se ha derivado utilizando *Inverse Reinforcement Learning* a partir de reparaciones realizadas por expertos humanos, y luego incorporado de manera online a una librería de operadores para ser empleado posteriormente en el aprendizaje vía simulación intensiva de políticas de reparación automática de *schedules* en tiempo real, por medio de la integración del *Reinforcement Learning* con *Locally Weighted Regression*. Las políticas aprendidas permiten la generación de secuencias de macro/micro-operadores de reparación deicticos locales para alcanzar objetivos de *re-scheduling* y de esa manera gestionar eventos anormales no previstos tales como la inserción de una nueva orden que arriba al sistema sin incrementar de la tardanza presente en el mismo. Si bien como trabajo futuro se ha planteado al análisis del impacto cuantitativo en el proceso de convergencia del algoritmo de aprendizaje a través de la incorporación en las secuencias de reparación de macro-operadores inducidos, se ha mostrado un ejemplo de aplicación en el cuál el sistema SmartGantt es expuesto a una serie de reparaciones realizadas por un experto humano, a partir de las cuales debe generar un macro-operador que responde a la táctica utilizada por el mismo durante el proceso interactivo de reparación. Finalmente, el macro-operador aprendido ha sido integrado en la política de reparación resultante de la simulación intensiva, demostrándose los importantes beneficios obtenidos, los que quedan reflejados tanto a partir de la reducción de tardanza presente en el sistema como en la portabilidad del conocimiento adquirido. Esto representa una táctica general aplicable en tiempo real de manera automática en *schedules* no necesariamente similares.

Referencias

- [1] Vieira, G., Herrmann, J., Lin, E. Rescheduling Manufacturing Systems: a Framework of Strategies, Policies and Methods. *J. of Scheduling*, 6, 39 (2003) 39–62.
- [2] Henning, G., Cerdá, J. Knowledge-based predictive and reactive scheduling in industrial environments. *Computers and Chemical Engineering* 24 (2000) 2315–2338.
- [3] Aytug, H., Lawley, M., McKay, K., Mohan, S., Uzsoy, R. Executing production schedules in the face of uncertainties: A review and some future directions. *European Journal of Operational Research*, 161, (2005) 86–110.
- [4] Palombarini, J., Martinez, E. SmartGantt - An intelligent system for real time rescheduling based on relational reinforcement learning. *Expert Systems with Applications* 39 (2012) 10251–10268.
- [5] Miyashita, K. Learning scheduling control knowledge through reinforcements. *International Transactions in Operational Research*, 7(2), (2000) 125–138.
- [6] Abeel, P., Ng, A. Apprenticeship Learning via Inverse Reinforcement Learning. *En Proc. 21st International Conference on Machine Learning*, ACM Press, NY (2004).
- [7] Levine, S., Popovic, Z., Koltun, V. Nonlinear Inverse Reinforcement Learning with Gaussian Processes. *Advances in Neural Information Processing Systems* 24, (2011).
- [8] Sutton, R., Barto, A. Reinforcement Learning: An Introduction. MIT Press, Boston, (1998)
- [9] Trentesaux, D. Distributed control of production systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22, (2009) 971–978.
- [10] Smart, W., Kaelbling, L., Practical Reinforcement Learning in Continuous Spaces. *En Proceedings of the Seventeenth International Conference on Machine Learning*. Morgan Kaufmann Publishers Inc. (2000), 903–910.
- [11] Musier, R., Evans, L. An approximate method for the production scheduling of industrial batch processes with parallel units. *Computers and Chemical Engineering*, 13, (1989) 229–238.
- [12] Extreme Optimization Numerical Libraries for .NET. <http://www.extremeoptimization.com/>. 29/03/2012

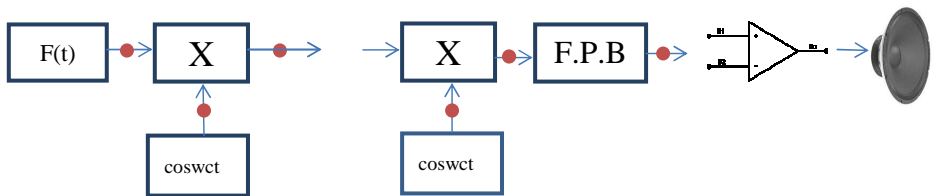
EQUIPO MODULADOR / DEMODULADOR DE TÉCNICAS DE AMPLITUD (DBLPS, AM, BLU) PARA LA ENSEÑANZA DE TEORÍA DE LAS COMUNICACIONES

Cattáneo, Diego Sebastián - diego_cattaneo@hotmail.com
Departamento de Ingeniería en Electrónica
Facultad Regional Villa María – UTN
Av. Universidad 450 – Villa María - Córdoba

Introducción: Diagramación del Trabajo en Forma Bloquística

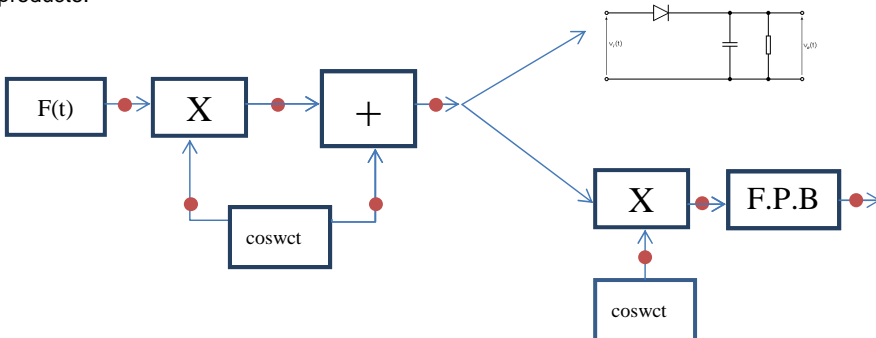
Ya que el trabajo es la forma tangible del desarrollo teórico en las teorías de las comunicaciones, es necesario primero definir los bloques que fueron necesarios construir en la electrónica. El tratamiento bloquístico es el primer paso y quizá el más importante, ya que a partir de él se desencadena el desarrollo completo del equipo. Un planteo correcto de los bloques, deriva por lo tanto, en una adecuada diagramación y un correcto funcionamiento.

Doble banda lateral con portadora suprimida: tanto la modulación como la demodulación tienen un enfoque periódico. La $f(t)$ es entonces a partir de un generador de funciones, como así también la portadora ω_c . Entre ambas existirá una relación de 10 veces, para lograr de este modo, una correcta visualización.



La salida del proceso de demodulación, deberá ser eventualmente amplificada para poder ser escuchada como un tono audible.

Doble banda lateral con portadora (A.M.): Se puede observar que este sistema, necesita contar además con un sumador y con la posibilidad que a la onda modulada pueda agregársele un offset, donde luego esta suma se traduce como nivel de portadora a la salida del multiplicador de producto.



Modulación y Demodulación de la A.M.

Como la detección puede realizarse de dos maneras distintas, es necesario contar con ambas formas de demodulación para establecer diferencias, niveles de ripple, efectividad de la detección, aprovechamiento de la energía.

Banda Lateral Única:

El método empleado para la obtención de la banda lateral única es el de compensación de fase, ya que quizá sea el método más característico de la forma de generación empleando multiplicadores. El método es claro en tanto se domine previamente el significado de multiplicar dos señales.

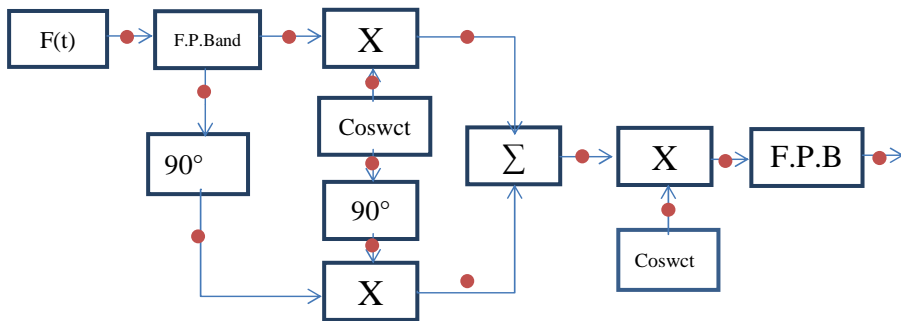


Fig. 3. Modulación y Demodulación de la B.L.U.

En esta diagramación puede observarse que se necesitan dos multiplicadores trabajando, a la vez que, tanto la portadora como la onda modulante deben estar desfasadas un ángulo recto, para luego entrar al sumador con los dos resultados de los productos. Luego, la etapa de demodulación es similar a los casos vistos anteriormente, por lo que aquí no es necesario agregar nada más.

Bloques diferenciados para que el estudiante pueda conectar los distintos bloques y generar las distintas técnicas de modulación de amplitud.

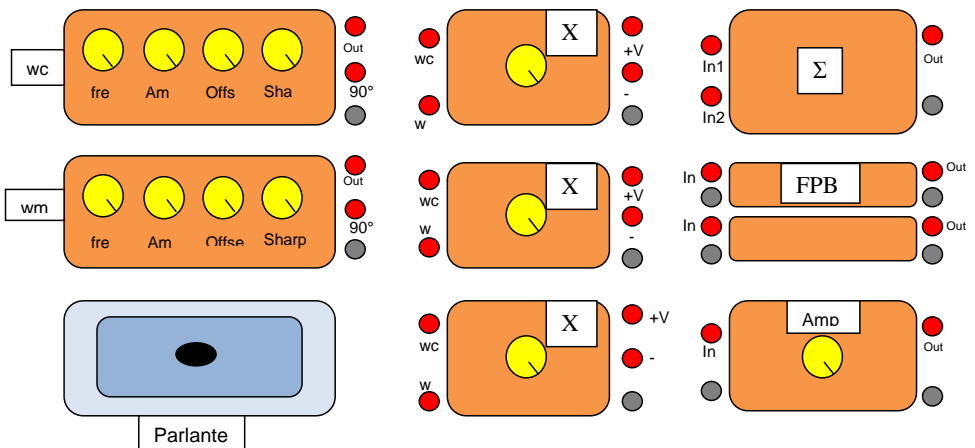


Fig. 4. Diagrama de Bloques Diferenciados

Funcionamiento del Equipo

A continuación se describen las experiencias que son posibles realizar con el equipo, el conexionado característico, la calibración de las partes, mediciones realizadas, como así también las formas de ondas obtenidas en tiempo y frecuencia.

Las experiencias pensadas para realizar en el laboratorio son:

- 1- Modulación de la DSB.
- 2- Demodulación de la DSB por reinyección de portadora.
- 3- Generación de Amplitud Modulada por offset en la modulante.
- 4- Demodulación de la AM con offset en la modulante por reinyección.
- 5- Demodulación de la AM con offset en la modulante por detección.
- 6- Generación de la AM por suma de portadora.
- 7- Demodulación de la AM por suma, por reinyección de portadora.
- 8- Demodulación de la AM por suma, por detección.
- 9- Generación de la BLU.
- 10- Demodulación de la BLU.

Ejemplo de Modulación de la DSB

A modo de ejemplo se muestran los resultados obtenidos en el osciloscopio digital de una de las técnicas de modulación generada por el equipo.

CH1	X1 (Vo+) 1V/Div Acoplamiento=CC	wm	Amp= 1 Vpp Frec= 10 KHz Offset = 0 Volt
CH2	wm (Vout) .5V/Div Acoplamiento=CC	wc	Amp = 1Vpp Frec = >50 KHz Offset = 0 Volt
Source	CH2	Base	20 μ seg/Div.

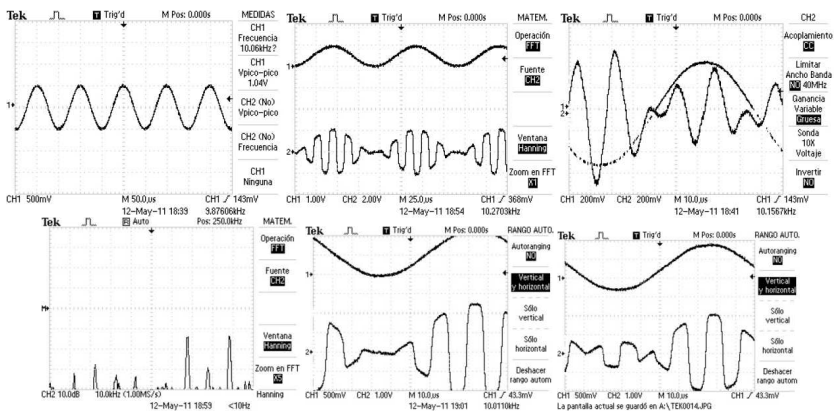


Fig. 5. Formas de onda obtenidas

En la Fig. 4 se observan las formas de onda obtenidas en tiempo y en frecuencia. Se ha elegido una portadora baja, para visualizar en detalle el resultado, como así también el cambio de fase en el cruce por cero. Se superpone la onda modulante ex profeso para contrastar resultados.

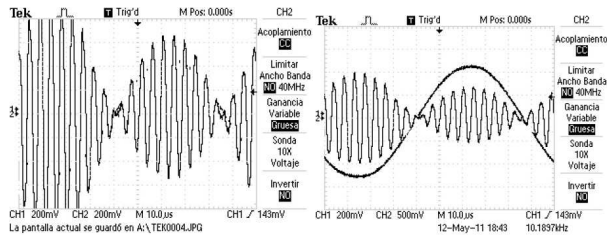


Fig. 6. Portadora con una mayor frecuencia.

En la Fig. 6 se utiliza portadora con una mayor frecuencia, donde todavía es posible visualizar el cambio de fase en el cruce por cero.

Conclusión

El aprendizaje de la teoría de las comunicaciones implica el conocimiento y dominio del tratamiento de señales analógicas, tanto matemáticamente como prácticamente en actividades de laboratorio. Las técnicas de visualización del tratamiento de señales recaen específicamente en tres instrumentos: el generador de ondas, el osciloscopio y el analizador de espectro, quedando el armado de los circuitos característicos como moduladores de producto, filtros pasa bajos, detectores, amplificadores de audio frecuencia y sumadores a cargo de la clase y de los estudiantes, que si bien no deja de ser una actividad técnica interesante, el proceso de entender cuál es el tratamiento de la señal hasta llegar a su forma final para ser transmitida, depende del tratamiento bloquístico de la temática, combinando los diferentes circuitos en su forma final y al mismo tiempo visualizando cada etapa del proceso para internalizar la esencia de la teoría.

Es por este motivo, que disponer de un equipo didáctico para la enseñanza, es una alternativa más que interesante, ya que brinda la posibilidad de trabajar simultáneamente la teoría y la práctica con un mínimo de preparación previa a la clase, brindando comodidad en la combinación de las partes que pertenecen al proceso de modulación y demodulación, en este caso, de las técnicas de amplitud: doble banda lateral con portadora suprimida, doble banda lateral con portadora, es decir la clásica A.M. (amplitud modulada) y banda lateral única.

Indice

EQUILIBRIO LÍQUIDO-LÍQUIDO EN MEZCLAS CONTENIENDO GLICERINA <i>Alfonsina E. Andreatta; María B. Longo; Carolina M.Utrera; Matías R. Saavedra</i>	9
DESARROLLO DE UNA INTERFAZ COMPUTACIONAL “ABAQUS-MATLAB” Y SU APLICACIÓN EN PROBLEMAS DE OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL. <i>D. Decicco, A. Romero y A. Valdéz.</i>	15
IMPLEMENTACIÓN DE UN ELEMENTO FINITO CON ROTACION NODAL LIBRE <i>D. Decicco, A. Romero y A. Valdéz.</i>	21
RENDIMIENTOS DE BIOETANOL EN FERMENTACIONES REALIZADAS CON MOSTOS DE ALTA CONCENTRACION DE SOLIDOS <i>Romina A. Beltrán, Nadia Z. Comba</i>	27
COMPARACIÓN DE TÉCNICAS ANALÍTICAS DE DETERMINACIÓN DE ALMIDÓN DE MAÍZ <i>Nadia Z. Comba, Romina A. Beltrán</i>	33
EVALUACION DE LA POTENCIAL CAPACIDAD PARA EL ALMACENAMIENTO DE HIDROGENO Y CARACTERISTICAS DE MATERIALES MESOPOROSOS TIPO MCM-41 <i>Carraro, Paola María</i>	39
COMPUESTOS FENÓLICOS EN LA FRACCIÓN SALVADO DE VARIEDADES DE TRIGOS ARGENTINOS Y SU ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE <i>S. Garnero. V. Caporali. E. Carrizo. M. Panero</i>	45
CARACTERIZACIÓN DE ACEITES ESENCIALES DEL DEPARTAMENTO SAN JUSTO (CÓRDOBA) <i>Alfonsina E. Andreatta, María B. Longo; Carolina Utrera; Matías Saavedra, Gloria Foco</i>	51
SOFTWARE DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA DEL MÉTODO DE LA RIGIDEZ EN INGENIERÍA MECÁNICA <i>Stratta Lucas, Jalil Jeremias, Tais Carlos</i>	57
“ANÁLISIS CUANTITAVO DE COEFICIENTES DE ARRASTRE Y SUSTENTACIÓN USANDO EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS” <i>Rosso Santiago</i>	63
EVALUACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y OTROS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN MIELES MONOFLORES DE LOTUS Y EUCALIPTO <i>COLOSIMO, Julieta; GALETTI, Valeria.</i>	69
EVALUACIÓN DE LA CONSTANTE CINÉTICA k PARA EL EJERCICIO DE LA DBO EN EFLUENTES DE LA INDUSTRIA CHACINERA <i>Jorge A. Garnero, Paola G. Chiappero</i>	75
TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE - NORMA ISDB-Tb <i>Hugo Oliveros, Hector Ferrari</i>	81
CAPACIDAD ANTIMICROBIANA DE MICROENCAPSULADOS DE GOMA ARÁBIGA EN LECHE, FRENTE A MICROORGANISMO MESÓFILO Y PSICRÓTROFO <i>Boiero, M. Laura; González Estévez, Virginia; Allasia, Mariana; Sarmiento, Paula Victoria</i>	87

O SISTEMA DE ADQUISICIÓN, ALMACENAMIENTO Y VISUALIZACIÓN DE DATOS EN PC UTILIZANDO SENSORES MEMS (ACELERÓMETROS)	97
<i>Bernardi, Emanuel; Moriondo, Darío; Peretti, Gastón.</i>	
CINÉTICA DE LA HIDROXIMETILACIÓN DE LA MELAMINA EN PRESENCIA DE METANOL	103
<i>S. Perez, A. Stola, D. A. Estenoz y V. V. Nicolau</i>	
INDUCCIÓN DE MACRO-OPERADORES DE REPARACIÓN EN SISTEMAS INTERACTIVOS DE RE-SCHEDULING	109
<i>Paula A. Toselli, Jorge A. Palombarini, Ernesto C. Martínez</i>	
EQUIPO MODULADOR / DEMODULADOR DE TÉCNICAS DE AMPLITUD (DBLPS, AM, BLU) PARA LA ENSEÑANZA DE TEORÍA DE LAS COMUNICACIONES	115
<i>Cattáneo, Diego Sebastián</i>	
PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE BIOGÁS OBTENIDO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	119
<i>Hernán G. Asís, Fabián Dopazo, Paulo J. Gianoglio</i>	
Reseña de información sobre Remedación natural para completar la depuración del cromo (VI) y (III) en efluentes de curtiembres.	125
<i>Romina Quezada, Eliana Varela - Tutor: MSc. Miguel A. Rosa</i>	
INFLUENCIA DE LA FUENTE DE NITRÓGENO EN EL MEDIO DE CULTIVO, EN EL CRECIMIENTO DE <i>RHODOTORULA SP.</i> DE ORIGEN LÁCTEO.	131
<i>M. A. G. Liboa, M. E. Guerín, L. Pegoraro</i>	
MÓDULO GRÁFICO DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES	137
<i>Martín Beccaría</i>	
EVALUACION DE NITRATOS, NITRITITOS Y CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA EN AGUA ENVASADA PARA CONSUMO HUMANO.	143
<i>María Eugenia Guerín, María Alejandra G. Liboa,</i>	
INTERACCIÓN DE QUITOSANO CON ESPECIES REACTIVAS DE OXÍGENO	149
<i>Noelia L. Vanden Braber, Nadia Z. Comba, Virginia Gonzalez Estevez</i>	
DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE UN CLARIFICADOR SECUNDARIO DE EFLUENTES LÁCTEOS UTILIZANDO MATLAB	155
<i>Carlos A. Córdoba - Tutor: MSc. Miguel A. Rosa</i>	
PARAMETRIZACIÓN DE LA CURVA DE MAGNETIZACIÓN DE UN TRANSFORMADOR	161
<i>Alejandro Gudiño, Juan Francisco Russo</i>	
APLICACIÓN DEL SOFTWARE FREEMAT 4.1.1 EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE EQUILIBRIO Y VOLUMETRÍA ACIDO-BASE	167
<i>Bicego, Franco – Chalvo, Gonzalo – Ciardelli, Sofia – Morea, Pilar</i>	
DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA INMOVILIZACIÓN SOBRE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DE -AMILASA	171
<i>Sabariz Alves, Lucia Belén – Vazquez Montalbetti, María Emilia – Chevarría, Gastón Alejandro</i>	
OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LA FERMENTACIÓN DE SORGO	177
<i>Andrés L. Barletta; Yanina I. Sánchez; Lucía A. Valazza</i>	

MEDIDOR DE RADIACION SOLAR CON ALMACENAMIENTO EN MEMORIA SD	183
<i>Fabián Sensini</i>	
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE FACTORES DE ESTRÉS EN LEVADURAS INDUSTRIALES Y LEVADURAS DE PANIFICACIÓN	189
<i>Bernardo Sigifredo; M. Celeste Stroppiano</i>	
FILTRO ADAPTIVO BASADO EN DISPOSITIVOS PROGRAMABLES	195
<i>Mónica A. Lovay</i>	
SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y VISUALIZACIÓN DE PARÁMETROS BRINDADOS POR MÓDULO GPS	201
<i>Perassi, Matías; Barbero, Mauro; Secrestat, Nicolás; Peretti, Gastón</i>	
Tecnología de voz sobre IP aplicada a la integración de plataformas de telefonía en instituciones académicas públicas de Argentina	207
<i>Mariano Javier Martín</i>	
Sistema de Control Automático para Torre de Destilación Fraccionada	213
<i>Sebastián José Marengo</i>	
ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA PURIFICACIÓN DE POLÍMEROS EN SISTEMAS DISCONTINUOS Y SEMICONTINUOS MEDIANTE ELECTROFILTRACIÓN	221
<i>Nicolás Giraudo</i>	
ANÁLISIS PRODUCTIVO-ECONÓMICO DEL CULTIVO DE AZAFRÁN EN LA ZONA DE VILLA MARÍA	227
<i>Federico Giusti, Guillermo Eduardo Vionnet</i>	

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE BIOGÁS OBTENIDO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Autores: Hernán G. Asís(1), Fabián Dopazo(2), Paulo J. Gianoglio(3)
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo GISENER. Avenida de la Universidad 501
(2400) San Francisco. Provincia de Córdoba. ARGENTINA. Tel. (03564) 421147/435402
<http://www.frfsco.utn.edu.ar/>
(1): hernanasis@gmail.com; (2): fd_11_9@hotmail.com; (3): paulo_racing89@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Entre las diferentes formas de producción de energía, en este proyecto, se investiga la obtención de energía eléctrica a partir de la generación de biogás que se adquiere de la recolección y fermentación de los residuos urbanos. En base al notable crecimiento demográfico de muchas ciudades, el incremento de los residuos sólidos urbanos se ha transformado en una de las principales problemáticas ambientales en la actualidad.

En la ciudad de San Francisco, provincia de Córdoba, el uso de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables es inexistente. Por otro lado, en cuanto a la existencia de residuos urbanos, la metodología de recolección diferenciada y su posterior disposición y aprovechamiento, la generación de energía no ha podido ser implementada con éxito, generando un problema sanitario y ecológico de relevancia. En las condiciones en que se plantea la realidad urbana de la ciudad, la generación de energía eléctrica desde el biogás es posible y necesaria.

El proyecto de investigación presentado, tratará de evaluar la factibilidad de generación de energía eléctrica desde el Biogás obtenido por el tratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos.

METODOLOGÍA Y DISCUSIÓN

La generación de Biogás es un proceso natural que tiene lugar en la degradación de la materia orgánica, y que, dependiendo de las condiciones de almacenamiento y descomposición de los residuos, adquiere significativa importancia desde el punto de vista energético. El Biogás es un combustible que se obtiene de manera biológica por la fermentación anaeróbica de la materia orgánica, y cuyos componentes principales son metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂).

Todo residuo orgánico, o fuente de Biomasa, atraviesa en estado anaeróbico las distintas etapas que culminan en la producción de metano. Este producto generado principalmente por actividades agrícolas y por descomposición de basura de consumo humano, es transportado hacia la estratósfera por medio de las corrientes de aire, para convertirse en una fuente importante de calentamiento global. Estudios de la EPA (Agencia de Protección Ambiental), determinan que el metano tiene un coeficiente de calentamiento global (GWP) de 56, lo que representa un potencial importante de una sustancia para contribuir al calentamiento global, en referencia al dióxido de carbono, al que se le asigna un GWP de 1.

Si bien la concentración del metano en la estratósfera es mucho menor que la del CO₂, su alto potencial contaminante lo convierte en la segunda fuente de calentamiento global. Desde hace tiempo, según las fuentes bibliográficas consultadas; la concentración de metano en la estratósfera se está incrementando peligrosamente. El aprovechamiento a nivel global de este gas, generaría en algún punto una contribución a la reducción de esta problemática, y un beneficio económico al utilizar energía proveniente de fuentes disponibles y renovables, disminuyendo el costo de generación y distribución en las redes de gas natural habitualmente utilizadas.

Selección de la biomasa a utilizar

Las fuentes de biomasa disponibles en la actividad humana son diversas, tantas como tipos de materia orgánica se hallen disponibles para su degradación. Entre ellas las que adquieren mayor importancia son los desechos orgánicos provenientes de la agricultura, los desechos de granjas de animales y los residuos domésticos. Existen distintos factores positivos y negativos para la elección de la biomasa que varían según su origen:

Desechos orgánicos resultantes de la agricultura y granjas de animales

La explotación agrícola de la tierra en esta región pampeana, por el tipo de cultivo realizado y las condiciones de cosecha y siembra posterior, no genera grandes cantidades de materia orgánica disponible para la generación de gas. Los desechos de los animales de granja generan una contribución importante en la acumulación de metano atmosférico, el cual influye negativamente en el efecto invernadero siendo el segundo gas de más aporte a esta problemática. Sus residuos son librados a la descomposición natural, sin ejercer el uso eficiente de la energía que estos naturalmente proveen. Si bien la ciudad se sitúa en una zona de gran importancia ganadera, los tambos de la región, se hallan muy dispersos unos de otros, lo que dificultaría la posibilidad de trabajar en una planta comunitaria de biogás, que plantearía las condiciones ideales para incrementar la producción del combustible y su distribución.

Desechos orgánicos resultantes de los residuos domésticos:

La disposición y el uso de los mismos están netamente vinculados a la actividad socioeconómica de las poblaciones, y su utilización requiere de la colaboración y el compromiso de la población y sus gobernantes. El aprovechamiento ecológico de los desechos y la reducción de la contaminación que generan los actuales basurales a cielo abierto son temas que incentivan a la elección de este tipo de biomasa.

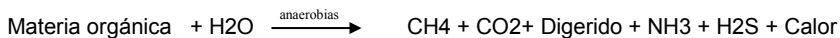
En base a las ventajas y desventajas nombradas anteriormente y a las investigaciones realizadas sobre situaciones similares en distintas ciudades en el mundo, hemos adoptado la utilización de los residuos sólidos urbanos como biomasa a utilizar. Esta opción es la seleccionada para la realización de los cálculos iniciales, que entregarán los datos necesarios para el estudio de la eficiencia de conversión de biogás en energía eléctrica.

El proceso de Obtención de Biogás

La digestión anaeróbica consiste en la descomposición de la materia orgánica por medio de microorganismos en ausencia de oxígeno, que, como producto de tal degradación, generan metano, dióxido de carbono y otros compuestos.

Con esta metodología, en condiciones adecuadas, puede obtenerse un gas con alto contenido de metano y un sólido residual que puede ser utilizado como fertilizante agrícola.

La conversión de materia orgánica en metano se describe de la manera siguiente:



En la digestión anaeróbica intervienen cuatro etapas del metabolismo bacteriano, como se muestra de manera resumida en la Fig 1, que conlleva la producción de biogás.

1) Hidrólisis: convierte los biopolímeros complejos en moléculas más sencillas, por acción de bacterias hidrolíticas anaeróbicas.

2) Acidogénesis: Las bacterias hidrolíticas son convertidas en ácidos orgánicos de cadena corta, alcoholes y diversos gases.

En estas dos primeras etapas se alcanza una producción de biogás de entre un 20 y 25%.

3) Acetogénesis: los productos finales del proceso de acidogénesis se convierten en acetato por medio de la deshidrogenación acetogénica.

4) Metanogénesis: el acetato producido a partir de los gases hidrógeno y dióxido de carbono, se convierten en metano por medio de bacterias metanogénicas.

Los microorganismos que intervienen en este proceso requieren de un medio con pH cercano a la neutralidad para una actividad óptima. Estas condiciones deben ser monitoreadas y ajustadas convenientemente en las diversas etapas de la degradación.

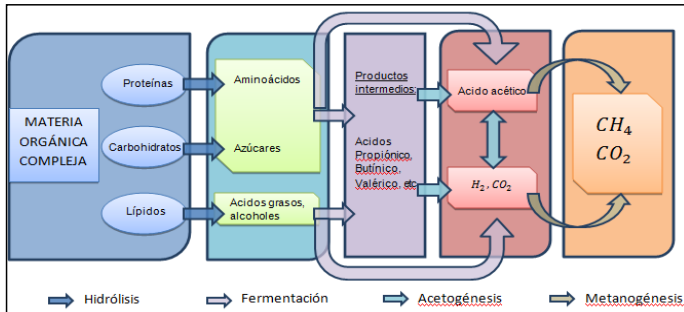


Fig. 1. Esquema síntesis del proceso de obtención del biogás.

Selección del biodigestor

Para la elección se evaluaron diversos trabajos concretos, y estudios de laboratorio, cuyas investigaciones estén sustentadas por la experimentación práctica. Se seleccionó así un estudio realizado por el departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Cádiz, en el cual las condiciones ambientales analizadas, y de la materia prima a utilizar se asemejan a la realidad de nuestra ciudad. Concluyendo que el uso de un reactor anaeróbico discontinuo que funcione en un rango de temperaturas termofílicas disminuye el tiempo de permanencia del residuo dentro del reactor, acelerando así la producción de biogás.

Además este proceso de obtención de biogás genera ciertas ventajas económicas, ya que en un único reactor se lleva a cabo el proceso completo con un alto rendimiento de conversión, una obtención de un residuo digerido con propiedades fertilizantes y una disminución notable del tiempo necesario para el arranque y la estabilización del digestor.

El tiempo de retención hidráulico debe contemplarse para la correcta selección del tamaño del reactor y las fases diarias de carga y descarga en el reactor semicontinuo. El tiempo de retención hidráulico seleccionado es de 15 días, tiempo necesario para la degradación biológica anaeróbica completa. El proceso optado se realizará en un digestor de alto contenido de sólidos a temperatura promedio de $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, asegurando así una máxima producción de biogás y un alto nivel de destrucción de patógenos. Esta digestión seca, permite una reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) de entre 70 y 90 % generando así un biogás que contendrá un porcentaje de metano de entre 50 y 70 %.

Cálculo de la producción de gas para un reactor discontinuo

En la ciudad de San Francisco, se generan en promedio 50 t. de basura por día, de la cual, aproximadamente un 40% está constituida por desechos de materia orgánica.

Para el proyecto en estudio, se evaluará la conversión de estos desechos orgánicos en un reactor tanque discontinuo que se alimentará con RSU, en una concentración del 20 % de los sólidos totales (ST).

La búsqueda de información y los relevamientos realizados en la ciudad por empresas y organismos relacionados al sistema de tratamiento de residuos, permite estimar que la composición de la fracción orgánica coincide con la evaluada en diversas ciudades estudiadas, en las cuales, el nivel socioeconómico de la población pudiera ser comparado a la de la ciudad de San Francisco. En función de esto se considera que la fracción orgánica de los RSU depositados en las instalaciones del basural y relleno sanitario de la ciudad puede describirse con suficiente precisión en estimaciones porcentuales según la tabla I. Los parámetros de análisis de laboratorio de la materia orgánica en estado primario, previo a su dilución, arroja los siguientes resultados según la tabla II⁽¹⁾ y la tabla III⁽¹⁾.

Tabla 1. Valor % de RSU

Elementos	Porcentaje
Papel y cartón	15 a 40 %
Veg. y mat. putrescibles	20 a 65 %
Plásticos	2 a 6 %
Metales	1 a 5 %
Vidrio	1 a 10 %
Caucho y cuero	1 a 5 %
Inertes (tierra y arena)	1 a 30 %

Tabla 2. Val. Característicos

Materia prima	
Parámetro	Valor
Densidad	328 kg/m ³
Humedad	52,6%
Sólidos totales	47,4%
DQO	803 mg/g
Materia orgánica	69,3 %

Tabla 3. Parámetros de RSU

RSU-20% de concentración	
Parámetro	Valor
Sól. totales	819 g/kg
Sól. volátiles	433,5 g/kg
Sól. Tot. solubles	13,1 g/kg
Sól. Vol. solubles	12,1 g/kg
DQO	57,6 g/l
COD	52,2 g/l
Carbono	10,4 %

La cantidad de metano producida requiere de un cálculo en el que intervienen parámetros propios del tipo de residuo, porcentaje de dilución y temperatura de reacción. Se expondrá a continuación el cálculo analítico de producción de biogás considerando óptimas condiciones de trabajo, que generan resultados ideales, y que se verán afectados, en la práctica, por diversos factores que intervienen en el funcionamiento real. En virtud del objetivo de la presente investigación, el análisis posterior no acredita condiciones reales de investigación, sino un cálculo aproximado del combustible disponible para la generación eficiente de energía.

Dada la producción diaria de la ciudad, promediada en 50.000 kg, del cual se considera una producción de residuos orgánicos es el 40 % del total de la basura, se tiene que:

$$50.000 \text{ kg} \times 0,4 = 20.000 \frac{\text{kg org.}}{\text{día}}$$

Siendo la concentración necesaria para la alimentación del 20%⁽¹⁾ de orgánico dentro del reactor, y los sólidos totales (S.T.) = 819 g/kg, deberá diluirse el residuo con agua de la siguiente manera:

$$Q_{\text{alimentación}} = 20.000 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{100}{20} = 100.000 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Los sólidos totales obtenidos dentro del reactor diariamente luego de su alimentación se calculan de la siguiente manera;

$$ST = 819 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \times 100.000 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{\text{kg}}{1000\text{g}} = 81.900 \frac{\text{kg ST}}{\text{día}}$$

Se considera el porcentaje de sólidos volátiles como el 52,93 %⁽¹⁾ de los ST dada la composición inicial del RSU, para lo cual:

$$SV = 0,5293 \times 81.900 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \cong 43.350 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Dados los resultados del estudio tomado como comparativo para el proceso de degradación en las condiciones planteadas. Se considera un porcentaje de reducción de los sólidos volátiles (SV) del 79,4%⁽¹⁾ dado los parámetros medidos en laboratorio:

$$\% \text{ Reducción} = 43.350 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 0,794 \cong 34.500 \frac{\text{kg SV}}{\text{día}}$$

El proceso de conversión anaeróbica genera una conversión en metano que se estima habitualmente en 0,15 m³/kg⁽²⁾ SV, por lo cual:

$$Q \text{ Biogás} = 34.500 \frac{\text{kg SV}}{\text{día}} \times 0,15 \frac{\text{m}^3}{\text{kg SV}} \cong 5.200 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

El porcentaje de metano promedio obtenido para la generación de biogás en este tipo de reactores es de aproximadamente 60%⁽³⁾ con lo cual:

$$5.200 \frac{\text{m}^3 \text{ Biogás}}{\text{día}} \times 0,6\% \cong 3.000 \frac{\text{m}^3 \text{ CH}_4}{\text{día}}$$

Este volumen de metano producido por día, considerando su poder calorífico⁽⁴⁾ por metro cúbico de metano, a presión atmosférica y 25°C, genera una energía calórica de:

$$3.000 \frac{\text{m}^3 \text{ CH}_4}{\text{día}} \times 8708,4 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \text{ CH}_4} \cong 27.000.000 \frac{\text{kcal}}{\text{día}}$$

RESULTADOS

La obtención de energía disponible por hora es entonces la equivalente a 1.125.000 kcal/h. Este valor pudiera ser convertido de manera ideal, a un valor de potencia disponible de aproximadamente 1.307 kJ / s. Esta potencia, lejos de ser la que se obtendrá de manera real, proporciona una base teórica para determinar la viabilidad del estudio.

Distintas opciones como para aprovechar el biogás

Turbina de gas: Entre las turbinas de gas, un rasgo significativo que las caracteriza es que se adaptan mucho mejor a las características del biogás, pudiendo trabajar con contenidos elevados de H₂S y concentraciones bajas de CH₄. Tiene una buena relación de potencia, peso y volumen y una buena flexibilidad en su operación.

Además, tienen una emisión baja de NO_x a la atmósfera y una rápida puesta en marcha, es decir, alcanza en poco tiempo su generación nominal o lo que se conoce como plena carga, lo que la hace muy útil para cubrir picos de consumo. Al ser una máquina rotativa presenta una clara ventaja frente a los motores alternativos, por la ausencia de movimientos alternativos y de rozamientos entre superficies sólidas, lo que se traduce en menores problemas de equilibrado y menores consumos de aceite lubricante, lo que otorga un mantenimiento sencillo y una elevada fiabilidad.

Las desventajas que imponen la negativa de la elección para nuestro proyecto son dos, la alta velocidad de rotación y su bajo rendimiento (30-35%) comparado con los motores alternativos diesel.

Celdas de combustibles: En la actualidad, las celdas de combustible son una tecnología prometedora para la producción de energía eléctrica y cogeneración a partir de biogás debido a su bajo impacto ambiental, su menor consumo y el elevado rendimiento que presentan.

Este tipo de obtención de energía presenta una clara desventaja que la omite en nuestra elección, precisa un biogás con un grado de pureza medio-alto lo que demanda una mayor inversión en la obtención del biogás, ya que la separación de residuos debería ser mucho más estricta, con máquinas más sofisticadas y también debe contar con un reactor de mayor tecnología y elevado coste. Además los materiales constructivos de la celda de combustible, debido a la tecnología que demanda su obtención, tienen un elevado coste. Por el momento, no es un sistema económicamente competitivo respecto a las turbinas de gas o a los motores de combustión interna para la generación de electricidad a partir de biogás.

Turbina de vapor: Con respecto al biogás utilizado como combustible externo en la generación de electricidad a través de las turbinas a vapor, el rendimiento que se logra es importante (puede llegar al 40%), es mayor que el de la turbina a gas y el motor y se puede mejorar el mismo haciendo extracciones de vapor y realizando ciclos combinados aprovechando los gases de combustión del biogás en las calderas.

Pero el montaje de una usina térmica, con calderas, condensadores, recalentadores, desgasificadores, desmineralizadores de agua, torre de refrigeración y demás, hace que para una potencia, como la que tenemos disponible para nuestro caso, no sea viable ya que el valor del Kilovatio generado tendrá un elevado coste debido a la inversión que demanda este tipo de usina.

Motor de combustión interna: El biogás con un grado medio de pureza, se puede utilizar en motores de combustión interna (motores de ciclo Otto -gasolina- y motores diesel). Los motores de ciclo Otto pueden funcionar solamente con biogás, aunque necesitan de otros combustibles en el momento del arrancado. Los motores de ciclo diesel constan de un sistema mixto de biogás y diesel que permite utilizar distintas proporciones de ambos combustibles. Sin embargo, los motores de combustión interna tienen como desventaja principal las elevadas concentraciones de NOx y CO que emiten a la atmósfera.

Debido a su baja inversión, su destacable rendimiento y considerando la potencia disponible, debido a la cantidad de metros cúbicos de biogás generado por los desechos orgánicos de nuestra ciudad, es el mecanismo de transformación de energía que elegimos para nuestro proyecto que a continuación desarrollaremos más sobre la elección del tipo de motor elegido.

El motor que irá acoplado al generador funcionaría de manera dual, en el arranque lo haría con gas oil por sus propiedades detonantes y luego una vez en régimen comenzaría a alimentarse con biogás. La proporción de consumo sería en porcentajes 30% de gas oil ya que se utiliza en el arranque y cada tanto durante su funcionamiento, en un tiempo estipulado por mantenimiento, con la finalidad de lubricar los mecanismos en contacto con el combustible y utiliza un 70% de biogás.

Afectando el rendimiento del motor que es de un 35% nos quedaría un valor de potencia eléctrica

$$1.307 \frac{kJ}{s} \times 0,35\% \cong 457.5 \frac{kJ}{s}$$

CONCLUSIÓN

Si bien se requiere de una separación del residuo previa a la recolección y de un tratamiento eficiente de la disposición de los mismos, la combustión de la fracción orgánica de los mismos, puede generar una potencia eléctrica de 457.5 kW, disponible para su utilización.

Esta generación de energía eléctrica no llega a cubrir la demanda actual de la ciudad pero puede incrementar la oferta actual.

Aparte de ser una nueva alternativa de obtención de energía, con este proyecto se logra un doble beneficio: generar energía limpia con baja emisión de contaminantes durante su combustión y, a la vez, reducir el impacto ambiental que generan los basurales a cielo abierto.

REFERENCIAS

(1) TANIA FOSTER CARNEIRO; "Digestión anaeróbica termofílica seca de RSU; estudio de la variable del proceso de arranque y estabilización del bio-reactor"; Tesis Doctoral en Ingeniería Química, Universidad de Cádiz, Cádiz, España 47,107, (2005)

(2) GERARD KIELY; "Ingeniería Ambiental; Fundamentos, entornos, tecnología y sistemas de gestión", Primera Edición, Mc Graw Hill,770,(1999)

(3) MARIANO SEOANEZ CALVO; "Tratado de la contaminación atmosférica; problemas tratamientos y gestión" 188. (2002)

(4) PERRY; *Manual del Ingeniero Químico, Sexta Edición*; tomo 1; pág. 3.195, tabla 3.207.

Reseña de información sobre Remediación natural para completar la depuración del cromo (VI) y (III) en efluentes de curtiembres.

Autores: Romina Quezada, Eliana Varela - Tutor: MSc. Miguel A. Rosa

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Villa María - Córdoba - Argentina

Correo electrónico: varelaeliana@hotmail.com

RESUMEN

El vertido de efluentes con alto contenido de cromo, procedentes de las curtiembres es un peligro potencial para la población y los ecosistemas. La temática del tratamiento de aguas residuales está en permanente estudio y desarrollo, llevando consigo el compromiso de alcanzar alta eficiencia a bajo costo. Esto ha llevado a encontrar una novedosa técnica que incluye a especies vegetales, algas y hongos, para la remoción del metal. Este trabajo tiene como objetivo presentar las variedades que logran más captación del metal y buscar los ejemplares que mejor podrían adaptarse a la problemática de desechos de las curtiembres nacionales. La fuente de información utilizada fueron diversas publicaciones científicas, que llevaron a concluir que pueden lograrse altos porcentajes de remoción utilizando la fitorremediación como un post-tratamiento. Además, en las regiones del país más comprometidas por la contaminación de la industria de las pieles, hay amplia disponibilidad de algunas de las especies más activas para la depuración.

INTRODUCCIÓN

Como consecuencia del aumento del consumo y de la población, se incrementa la cantidad de desechos que se dirigen a los ecosistemas. Entre ellos, están los efluentes de la industria del cuero, que constituyen uno de los residuos de mayor complejidad para su tratamiento en razón de las características que posee su carga contaminante. Los diversos métodos que se aplican en la actualidad, suelen ser costosos, o no resultan del todo eficaces para cumplir con las regulaciones ambientales. Resulta necesario entonces, contar con nuevas alternativas de degradación para este problema. [1]

La fitorremediación consiste en el uso de plantas para el saneamiento ambiental, es un proceso complementario a los tratamientos de efluentes de carácter fisicoquímico. Los vegetales seleccionados para este fin deben tener la capacidad fisiológica y bioquímica de absorber, retener, en el caso de metales y degradar o transformar las sustancias tóxicas en otras formas químicas menos tóxicas en el caso de compuestos orgánicos.

Se trata además de un proceso menos costoso que los métodos tradicionales, al no tener tanta supervisión manual, ni requerir demasiada energía. [2]

Se conocen más de 400 especies vegetales capaces de acumular sustancias tóxicas con distintos grados de eficiencia [3] y la lista sigue creciendo. Pueden distinguirse en ellas distintos tipos de fitorremediación según el modo en que la planta capta o metaboliza la sustancia contaminante.

Para estabilizar o retirar los metales del suelo y del agua se hace posible a través de dos mecanismos, la fitoextracción y rizofiltración. La fitoextracción, se basa en el uso de plantas terrestres para absorber metales pesados desde el suelo, para luego transportarlos hacia el tallo y las hojas. La rizofiltración involucra algunas plantas

acuáticas de humedales, algas, bacterias y hongos, que resultan ser efectivos biosorbentes de metales mediante su absorción a partir de aguas contaminadas a través de sus raíces. [4]

En el presente estudio se realizó un análisis comparativo entre diferentes vegetales usados en la fitorremediación, a fines de poder establecer una posible alternativa que resulte considerada en la remoción de cromo de los efluentes de curtiembre previamente tratados con otros métodos. El efecto proporcionaría aguas en condiciones físico químicas totalmente aptas para el medio ambiente.

DESARROLLO

Se llevó a cabo una exhaustiva revisión de la literatura científica existente sobre la capacidad de distintas especies para lograr la depuración del cromo de efluentes industriales en general y de la industria de la curtiembre en general. De la misma surgieron las siguientes consideraciones:

- *Nymphaea alba L. (Nymphaeaceae)*. Es una planta acuática ornamental en estado vegetativo, que ha sido estudiada en sus capacidades de remover cromo. Para las experiencias realizadas, se recogieron algunos ejemplares en su medio natural y se aclimataron a las condiciones de laboratorio, durante 15 días en recipientes de vidrio, con base de piedras de acuario y solución nutriente.

Utilizando un sistema modelo de efluente líquido de curtiembre, post tratamiento físico-químico, se pudo determinar que luego de 21 días, en condiciones de invernáculo, se disminuyó en un 50% la concentración del cromo (VI), siendo la concentración inicial 10 ppm a pH 5.5. Transcurriendo más de ese tiempo, la planta mostró síntomas de fitotoxicidad en todos sus órganos. [5]

Para su empleo en fitorremediación en nuestro país, no hay registros de esta variedad. [6]

- *Paecilomyces lilacinus*. Es una variedad de hongos que demuestran que son resistentes y capaces de eliminar cromo hexavalente en efluentes simulados con grandes concentraciones de cromo.

Sólo un gramo de biomasa fúngica, remueve 100 y 1000 mg/L del metal de una a tres horas de incubación, (pH ácido, a 28 °C y 50 °C, con agitación constante de 100 rpm, durante diez horas). De las muestras del medio ambiente, se obtuvo una cepa fúngica capaz de crecer a 500 mg/L de Cr (VI), lo que indica que el microorganismo adquirió gran capacidad de resistencia a la toxicidad. A temperaturas de 50 °C se dan indicios de mayor eficiencia en la remoción del metal, ya que en una y tres horas suprime el 100% de cromo hexavalente, en 100 y 1000 mg/L respectivamente, mientras que se requieren nueve horas, a 28 °C, para eliminar el metal. Esto sería un aumento en la velocidad redox a mayor temperatura.

Esta especie de hongo puede utilizarse para eliminar el cromo hexavalente presente en aguas residuales provenientes de las curtiembres, ya que presenta mayor capacidad que otras biomásas reportadas en la literatura. También, pudo probarse que el hongo puede eliminar totalmente 297 mg de cromo por cada gramo de tierra contaminada. [7]

El hongo *Paecilomyces sp.*, se encuentra en las zonas del noreste argentino, para acceder a su utilización; pero en su manejo se debe tener cuidado ya que ocasiona riesgos para la salud. [8]

- *Especies vegetales hiperacumuladoras de cromo*. Entre ellas *Los Tagetes sp.*, plantas herbáceas que crecen en el Amazonas, en la región central y norte de Argentina, [6], [9].

Algunos ejemplares fueron sometidos a pruebas en el laboratorio *in vitro* con lodos conteniendo 20000 partes por millón de cromo. Al final de estos experimentos, se logró disminuir la cantidad de cromo hasta en un 75 %. [10]

- *Micro algas Scenedesmus obliquus*. Son estudiadas para utilizarlas como reductoras de la carga contaminante de cromo hexavalente proveniente de la industria galvánica. Se cultivan en lagunas de estabilización al finalizar el proceso de tratamiento de efluente. Los datos se obtienen de un reactor con cultivo inmovilizado de *Scenedesmus obliquus*. Luego de 40 horas, se logró una eficiencia del 92,40 % en remoción del metal partiendo de una concentración inicial de 85.6 mg/L. La temperatura se mantuvo en el rango de 29,4 y 34 °C, condición óptima para el buen desarrollo de las algas y del proceso de remoción de los metales pesados. El pH fue de 4 y 8.9 al llegar a la máxima remoción. [11]

Estas microalgas, no han sido evaluadas para tratamientos de efluentes de curtiembre, pero sí, se han encontrado muy buenos resultados en sus capacidades de eliminación de cromo tetravalente en aguas residuales con alta carga contaminante; su estudio y empleo para el tema en cuestión, podría ser prometedor. Además, para el desarrollo y mantenimiento de las mismas, no son necesarios demasiados requerimientos, siendo posible hallarla en algunos arroyos y lagunas en el norte del país. [12]

- *Prosopis laevigata*. Se evaluó científicamente su capacidad para remover cromo hexavalente en cultivos *in vitro*. Las semillas maduras de este árbol fueron cortadas mecánicamente y se desinfectaron superficialmente. Luego se sembraron asépticamente en tubos de cultivo con medio modificado y sacarosa. Las plantas fueron cosechadas a los 50 días, separando la raíz de la parte aérea y lavadas con agua desionizada, posteriormente puestas a secar a 60°C durante 72 horas. Las muestras fueron digeridas en un horno de microondas con 5 ml de HNO₃. La concentración del metal fue analizado usando un espectrómetro de absorción atómica, determinando altos contenidos de cromo en los tejidos de la planta, 5461 y 8090 mg Cr/ Kg en tallo y raíz respectivamente. Esto demuestra además, que transloca eficientemente el cromo y por ello puede emplearse con propósitos de fitorremediación de suelos contaminados con este metal. [13]

- *Canna Indica* y *Canna Glauca*. Son plantas tropicales adaptables al medio acuático, en las cuales se analizó la facultad de ambas especies para remover el metal del agua. Para ello, se empleó concentraciones de cromo entre 400 y 1.000 mg/L, evidenciándose una mayor eficiencia en la eliminación del metal para las soluciones de concentración más baja. En las soluciones con cromo que presentaban una baja concentración inicial de nitrógeno y fósforo, o que no contenían cromo trivalente, las plantas se deterioraron rápidamente. Igualmente se determinó que la remoción de cromo es más rápida para un mayor número de plantas por unidad de área, y a menor altura de líquido. Para todos los casos se produjo un aumento del pH, incluso hasta valores por encima de la neutralidad. También se observó una disminución considerable de la carga orgánica contaminante. A partir del análisis del tejido vegetal, se comprobó que el cromo, independientemente de su estado de oxidación en la solución, (III) o (VI), se almacena en mayor proporción en la raíz, alcanzando concentraciones superiores a los 3.000 mg/kg (peso seco). Los mejores resultados para estas consideraciones los proporciona la especie *Canna Indica*. [14]

Ambas especies existen en la provincia de Buenos Aires y Santa Fe, que es la zona que presenta más asentamientos de curtiembres en el país. [15]

- *Vetiveria zizanioides (vetiver)*. Es una especie vegetal con alta resistencia a ambientes extremos, condiciones de stress y acidez; en la que se determinó que es eficiente para la

eliminación de zinc, plomo y cromo, aunque a altas concentraciones la presencia de los mismos inhibe la producción de materia seca y la tasa fotosintética.

En este estudio se evaluó el uso del vetiver para la fitorremediación de lodo residual de la industria de las pieles, que presenta altos valores de cromo (21000 mg/kg); asimismo, se obtuvo un sustrato, el cual posee atributos que mejoran las condiciones para el desarrollo de vetiver.

Para la caracterización de lodos residuales, se consideraron parámetros químicos y físicos asociados a la capacidad de retención de cationes y que pudiesen afectar el desarrollo de las plantas. Las variables químicas evaluadas fueron materia orgánica, conductividad eléctrica, calcio, magnesio, potasio, sodio y capacidad de intercambio catiónico, también se determinaron los micronutrientes cobre, hierro y zinc. Los resultados mostraron una reducción de niveles de cromo en lodo de 30% a 15 días y de 9% a 45 días; la cantidad de metal absorbido por la planta fue de 3.49 mg.

La absorción de cromo en el tratamiento de lodo con vetiver fue mayor a nivel del tallo, mientras que en el caso donde se adiciono abono, la misma se concentró a nivel de la rizósfera [16]. A pesar de que el vetiver es originario de la India, es ampliamente cultivado en los países de las regiones tropicales. En nuestro país se puede encontrar en la zona chaqueña.

- *Helianthus annuus*. Es un girasol de la variedad enana. Experimentos en hidroponía determinaron el efecto de cromo (III) en su germinación, tolerancia, y absorción de este metal. Se comprobó que 40 mg/L de este cromo no afectan significativamente la germinación. También se observó que a menor edad de las plantas, éstas presentaron mayor tolerancia al metal en cuestión.

El pH del medio se ajustó siempre a 4.8; después de 15 días las raíces acumularon 7400 mg/kg de cromo, mientras que en el tallo, la acumulación fue de 200 mg/kg de peso seco. Estos datos dan una idea general de la eficiencia de la planta para absorber y transportar el metal del medio de crecimiento a la parte aérea cosechable. Las cifras obtenidas permitieron identificar las condiciones óptimas en las cuales la planta de girasol absorbe y acumula cromo de un medio acuoso y explorar la factibilidad del uso de esta planta para fines de rizofiltración. Se informó también, que la presencia del quelante SS-EDDS reduce la absorción y translocación de cromo trivalente. Concluyendo, esta especie se puede utilizar en la fitorremediación de cromo (III), sembrada directamente en el medio contaminado. [17]

Desde hace unos años se han realizado diversos estudios para insertar esta variedad genética en el país, pero para aplicaciones agrarias; por lo que es posible tener biodisponibilidad para su empleo en las curtiembres. [18]

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Haciendo un extracto de los datos presentados, se puede advertir, en la mayoría de los casos, que se toma bastante tiempo el proceso de eliminar el cromo por vía de los vegetales, pero aún así, es una buena manera de utilizar los recursos que están disponibles naturalmente. En el caso de los hongos y algas es más rápido el proceso de remoción, y es relativamente fácil encontrar las cepas para cultivar.

Tabla 1: Eficiencias según la especie.

Especie	Nivel de cromo inicial mg/L	Tiempo	% de Remoción de Cromo	Hábitat en Argentina
<i>Nymphacea alba L</i>	10	21 días	50	Sin Registro
<i>Paecilomyces sp (Hongo)</i>	1000	3 h	100	Noreste
<i>Tagetes sp</i>	20		75	Centro y Norte
<i>Prosopis Laevigata</i>		50 días	Biosorción: 5461 mg/kg en tallos y 8090 mg/kg en raíz	Sin Registro
<i>Canna Glauca y Canna Indica</i>	1000	15 días	100	Centro y Norte
<i>Scenedesmus Obliquus</i>	85,6	40 h	92,4	Norte
<i>Vetiveria Zizarioides</i>	21000	15 días	30	Norte
<i>Helianthus annuus</i>	40	15 días	Biosorción: 200 mg/kg en tallos y 7400 mg/kg en raíz	Centro

CONCLUSIONES

Estas investigaciones realizadas científicamente proponen nuevas mejoras para los tratamientos de efluentes y demuestran experiencias con buenos resultados en la remoción de cromo. Existe mucho por desarrollar y mejorar antes de emplear estas alternativas a escala industrial.

Contar con sistemas de fitorremediación, que son aplicaciones eficaces y de bajo costo, prometen una gran ventaja que se podría tener tanto en la industria de la curtiembre, como en el medio ambiente. Como propuesta de trabajo a futuro, se pretende evaluar las posibles consecuencias en la cadena alimentaria, así como también, proponer mejoras cuando los tiempos de remoción son prolongados.

REFERENCIAS

- [1] Peña Rodón J. A., *Gestión ambiental del agua en las empresas de Curtiembre*. CONAMA, Congreso Nacional del Medio Ambiente. Venezuela, 2006.
- [2] Agudelo Betancur L. M., Macías Mazo K. I., Suárez Mendoza A. J., *Fitorremediación, La alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos*. Revista Lasallista de Investigación. Colombia, 2005.
- [3] Baker, A.J.M., McGrath, S.P., Reeves, R.D, Smith, J.A.C. *Metal hyperaccumulator plants: A review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils*. Phytoremediation of Contaminated Soil and Water. E.E.U.U, 2000.

- [4] Díez Lázaro J. *Fitorcorrección de suelos contaminados con metales pesados: Evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas*. Tesis doctoral, Universidad de Santiago de Compostela. España, 2008.
- [5] Tancioni, A. *Método de Remediación Natural para Completar la Depuración de Efluentes Industriales Contaminados con Cromo Hexavalente*. Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. Paraguay, 2006.
- [6] Instituto de Botánica Darwinion, <http://www2.darwin.edu.ar>
- [7] Cárdenas González J. y Acosta Rodríguez I. *Remoción de Cromo Hexavalente por el Hongo Paecilomyces sp. Aislado del Medio Ambiente*. Revista Información Tecnológica volumen 22. México, 2010.
- [8] Sarmiento M. M. *El suelo como reservorio de hongos nocivos para la salud*. Comunicaciones científicas y tecnológicas, Instituto de Medicina Regional. Argentina, 2011.
- [9] Chamorro E., Ballerini G., Sequeira A., Velasco G., Zalazar M. *Chemical composition of essential oil from tagetes minuta L. leaves and flowers*. Journal of the Argentine Chemical Society, volumen 96, Asociación Química Argentina. Argentina, 2008.
- [10] Bustos G. *Fitorremediación: opción barata y efectiva*. Costa Rica, 2003.
- [11] Pellón A., Rodríguez M., González O., Frades., *Remoción de cromo mediante el uso de un biorreactor utilizando scenedesmus obliquus inmovilizado*. Cuba, 2011.
- [12] Salusso, M. *Informe cualitativo. Parque Nacional El Rey*. Argentina, 2006.
- [13] Buendía González L., Orozco Villafuerte J., Cruz Sosa F., Vernon Carter J., Barrera Díaz C. *Remoción de Cr (VI) y Cd (II) en Cultivos in vitro de Prosopis laevigata*. VII Simposio Internacional de producción de alcoholes y levaduras, Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. México, 2003.
- [14] Mallia M. A., Dautant R. y Windevoxhel R. *Fitorremediación de Aguas Residuales Contendientes de Cromo con Especies de la Familia Cannaceae*. Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. Venezuela, 2003.
- [15] Ciciarelli M. M. *Canna ascendens (Cannaceae), una nueva especie de la provincia de Buenos Aires y comentarios sobre otras especies argentinas de este género*. Darwiniana volumen 45. Argentina, 2007.
- [16] Torres Rodríguez D., Cumana A., Torrealba O. y Posada D. *Uso del Vetiver para la Fitorremediación de Cromo en Lodos Residuales de una Tenería*. Revista mexicana de ciencias agrícolas. México, 2010.
- [17] De la Rosa G., Cruz Jiménez G., Cano Rodríguez I., Fuentes Ramírez R. y Gardea Torresdey J. L. *Efecto de la Edad de la Planta y Presencia de SS-EDDS en la Tolerancia y Absorción de Cr (III) por Helianthus annuus*. Revista mexicana de ingeniería química volumen 7. México, 2008.
- [18] Cantamutto M., Presotto A., Poverene M., *Caracterización climática de poblaciones argentinas de Helianthus annuus annuus*. Asociación Argentina del Girasol. Argentina, 2002.

INFLUENCIA DE LA FUENTE DE NITRÓGENO EN EL MEDIO DE CULTIVO, EN EL CRECIMIENTO DE *RHODOTORULA SP.* DE ORIGEN LÁCTEO.

Autores: M. A. G. Liboa¹, M. E. Guerin¹, L. Pegoraro²

Tutores: Mg. Lic. Silvia Moyano³, Mg. Ing. José M. Peralta⁴.

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María. Av. Universidad 450, X5900HLR, Villa María, Córdoba, Argentina.

Email: aleliboa5@hotmail.com

¹Estudiantes de Ingeniería Química. ²Analista de Laboratorio de Química y Microbiología. ³Jefe de Laboratorio de Química y Microbiología. ⁴Profesor Adjunto Dedicación Exclusiva.

Resumen:

El objetivo de este estudio fue determinar la influencia de las fuentes de nitrógeno, utilizadas en medios de cultivos específicos, de levaduras de la especie *Rhodotorula mucilaginosa* aislada de la materia grasa de efluentes lácteos. Las cepas de estos microorganismos han demostrado la capacidad de degradar los componentes grasos en las aguas residuales de producción de biodiesel. El propósito fue definir un medio de cultivo apropiado para el crecimiento de un número elevado de levaduras (aproximadamente 10^7 - 10^8 ufc/ml) para ser utilizado en ensayos de degradación de efluentes lácteos o de otro origen, con alto contenido graso. Los ensayos fueron planeados utilizando un diseño de experimentos de 1 factor con 4 niveles (1 representativo del medio de cultivo básico y 3 con el agregado de una fuente extra de nitrógeno), con réplicas. Los ensayos se realizaron en 2 bloques usando urea, sulfato de amonio y cloruro de amonio como fuentes de nitrógeno extra. En estos experimentos, el crecimiento neto de microorganismos se evaluó midiendo la población de *Rhodotorula sp.* en el tiempo 0 y después de 24 horas de incubación a 30 °C. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) que se complementó con un análisis de residuos para evaluar los supuestos del ANOVA. El número promedio de levaduras alcanzado en los distintos ensayos fue de entre 10^5 y 10^6 ufc/ml después de 24 horas de incubación. El estudio reveló que no hubo efectos significativos sobre el crecimiento neto de las levaduras en los medios de cultivos utilizados a un nivel de confianza del 95%. Los análisis microbiológicos se realizaron en los laboratorios de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María.

Palabras claves:

Cepas de levadura *Rhodotorula sp.*, degradación de grasas, fuentes de nitrógeno, efluentes lácteos y de biodiesel, diseño de experimentos, ANOVA.

Abstract:

The aim of this study was to determine the influence of the nitrogen sources in culture media used for the growth of yeast strains of the species *Rhodotorula mucilaginosa*, isolated from fat of dairy effluents. These microorganisms have shown the ability to degrade the fat components in biodiesel wastewaters by what we are looking to define a suitable culture medium for the growth of a number of yeasts (approximately 10^7 - 10^8 cfu/ml) for use in degradation testing of dairy effluent, or other source wastewater, with high fat content. The trials were planned using design of experiments with 1 factor with 4 levels (3 sources of nitrogen enrichment and 1 with no enrichment), with replicas. In these experiments, the net growth of these microorganisms was evaluated by measuring the population of *Rhodotorula sp.* at time 0 and after 24 hours of incubation at 30 °C. The average number of yeasts reached in the experiments was between 10^5 y 10^6 cfu/ml after 24 hours of incubation. The results were subjected to an analysis of variance (ANOVA), supplemented by a residual analysis to evaluate the assumptions of ANOVA. The study revealed that no significant effect of the nitrogen source was found on the net growth of yeasts in the culture media used, at a

confidence level of 95%. Microbiological analyses were performed in the laboratories of the Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María.

Keywords:

Rhodotorula sp. yeast strains, fat degradation, nitrogen sources, dairy and biodiesel effluents, design of experiments, ANOVA.

Introducción:

Las levaduras son importantes por su capacidad de realizar la descomposición mediante fermentación de diversos cuerpos orgánicos; principalmente los azúcares o hidratos de carbono, produciendo distintas sustancias. Son oxidativas, fermentativas, o bien su actividad metabólica es a la vez de ambos tipos; produciendo enzimas capaces de descomponer diversos sustratos, teniendo gran relevancia en el sector biotecnológico e industrial, ya que son esenciales en la producción de algunos alimentos y bebidas [1, 2]. Para su crecimiento necesitan fuentes de carbono orgánico y nitrógeno mineral u orgánico. El carbono se puede suministrar en forma de azúcares, aldehídos, sales de algunos ácidos orgánicos, glicerina o etanol y ocasionalmente en otra forma dependiendo del tipo de levadura. Todas las levaduras son capaces de utilizar nitrógeno en forma de amonio. Los iones amonio pueden ser aportados en el medio por el cloruro de amonio, el nitrato de amonio, el fosfato amónico y sobre todo el sulfato amónico que es el mejor compuesto ya que aporta al mismo tiempo azufre necesario para la síntesis de ciertos aminoácidos. También se puede utilizar urea, peptona u otros derivados proteicos solubles [3, 4].

Entre las levaduras con capacidad de producir lipasas se resaltan *Candida*, *Rhodotorula* y *Hansenula* [5, 6, 7]. Por otro lado, las levaduras pertenecientes a la especie *Rhodotorula mucilaginosa* demostraron la capacidad de degradar grasas en efluentes de restaurantes [8] y en efluentes de biodiesel [9, 10], lo cual hace que las levaduras pertenecientes a este género, desde el punto de vista biotecnológico, podrían tener aplicación en la degradación de la materia grasa de otros efluentes industriales como los efluentes lácteos. Las levaduras del género *Rhodotorula* crecen rápidamente, son suaves, mucosas, de color rosado y/o rojo anaranjado cremoso o rugoso, color que se manifiesta por su riqueza en carotenoides y facilita su identificación, no fermenta azúcares y produce ureasa [11]. Por su gran composición en carotenoides, este tipo de levaduras puede ser utilizado para la obtención de los mismos por vía biológica [12, 13]



Figura 1: Cepas aisladas de *Rhodotorula sp.*

El objetivo de este trabajo fue determinar la influencia de la fuente de nitrógeno (se realizaron ensayos utilizando tres fuentes de nitrógeno extra: urea, sulfato de amonio y cloruro de amonio) en el crecimiento de las mismas aisladas de efluente lácteo, con el propósito de definir un medio de cultivo para obtener un número elevado de levaduras por ml (aproximadamente 10^7 - 10^8 ufc/ml) que permita realizar posteriormente ensayos de degradación de efluentes lácteos o de biodiesel.

El estudio fue realizado a través de un diseño de experimentos. Esta técnica es aplicable a todos aquellos estudios y situaciones en las que se necesita ensayar hipótesis sobre una posible causa-efecto, donde el experimentador escoge ciertos factores para su estudio, los altera deliberadamente de forma controlada y después observa el efecto resultante. En este caso la hipótesis a probar fue si el crecimiento neto de las levaduras es el mismo para las distintas fuentes de nitrógeno utilizadas.

Para confirmar o rechazar la hipótesis inicial, se hace uso del ANOVA. El objetivo del ANOVA es el de comparar las diferencias debidas a los tratamientos, con las diferencias debidas a los errores. Esta decisión se toma en función de un factor numérico F_c , conocido como valor de contraste o el valor-p que corresponde al nivel de significación más pequeño posible que puede escogerse, para el cual todavía se aceptaría la hipótesis alternativa con las observaciones actuales. Cualquier nivel de significación inferior al valor-p escogido (en este caso $p=0.05$) lleva a aceptar la hipótesis nula [14, 15, 16].

Materiales y Métodos:

Aislamiento de las levaduras del género Rhodotorula: Se efectuó a partir de muestras de efluente de una industria mantequera y una productora de queso. Ambas se procesaron realizando un recuento de hongos y levaduras [17, 18] con 4 diluciones, utilizando ágar de glucosa-extracto de levaduras-cloramfenicol. Las placas se incubaron aproximadamente a 25 ± 2 °C, durante 72 horas. Para la caracterización de las levaduras desarrolladas se tuvo en cuenta la clasificación según su coloración característica propuesta por [11, 19, 20]. Los resultados obtenidos fueron 4 colonias típicas en dilución 10^{-4} de cada muestra.

Análisis microbiológicos: Se realizaron dos experiencias en diferentes fechas. En los ensayos para determinar la influencia de la fuente de nitrógeno en el desarrollo de las levaduras del género *Rhodotorula sp.* se utilizó un medio base compuesto por: glucosa 20 g, extracto de levadura 1 g, fosfato monopotásico 0.2 g, sulfato de magnesio 0.2 g, agua destilada c.s.p. 200 ml. Como fuente de enriquecimiento de nitrógeno se adicionó a cada muestra cloruro de amonio, fosfato ácido de amonio o urea, para obtener una concentración final de 0.02 g/l de nitrógeno.

Para cada experiencia se utilizaron 200ml del medio base enriquecido con la fuente de nitrógeno correspondiente, cada uno sembrado con dos colonias de levadura *Rhodotorula sp.* aisladas anteriormente. El número de microorganismos fue determinado al comienzo y luego de 24 hs de la incubación a 30 ± 1 °C. En las experiencias realizadas también se tuvo en cuenta el crecimiento en un medio no enriquecido en fuente nitrogenada, para evaluar si la misma realiza un efecto importante en la curva de crecimiento de la levadura.

Diseño de experimentos: Para el estudio se utilizó un experimento de 1 factor con 4 niveles (uno por cada fuente de nitrógeno y un control negativo sin enriquecimiento), con 2 réplicas. Se evaluó el incremento en la población de *Rhodotorula sp* luego de 24hs de incubación, determinando el crecimiento neto de este microorganismo. Estos datos fueron sometidos a un ANOVA. Dado que se trabajó en 2 bloques (cada bloque es una experiencia realizada en un determinado momento bajo condiciones uniformes de trabajo), se evaluará en el momento del análisis si existe algún efecto sobre los resultados debido a este factor de ruido. Este análisis se complementó con un análisis de residuos, donde se comprobó la correlatividad de estos últimos con la prueba de normalidad para evaluar los supuestos del análisis de la varianza. Como alternativa, en el caso de no cumplimiento de los supuestos para el ANOVA, se propone la prueba de Kruskal-Wallis (que compara las medianas de los niveles en lugar de las medias). Esta prueba es mucho menos sensible a la presencia de valores atípicos que un ANOVA y debe usarse siempre que el supuesto de normalidad dentro de los niveles no sea razonable.

Resultados:

En la Tabla 1 se muestran los datos de los recuentos totales obtenidos para cada experimento ordenados por bloques. En la Tabla 2 se observan los valores obtenidos en el ANOVA de $p=0.0976$ para el factor y $p=0.0764$ para los bloques evidencian que la hipótesis nula de medias iguales para los distintos niveles no se rechaza al nivel de significancia del 5% y que no tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la variable, ($p > 0.05$).

Tabla 1: Recuento de levaduras del género *Rhodotorula*. Incubación a 30°C, 24 horas

Bloque	Medio sin enriquecimiento	PO ₄ H(NH ₄) ₂	CINH ₄	Urea
1	3.2 x 10 ⁵	2.4 x 10 ⁵	5.9 x 10 ⁵	4.5 x 10 ⁵
1 (duplicado)	2.6 x 10 ⁵	1.8 x 10 ⁶	7.3 x 10 ⁵	6.2 x 10 ⁵
2	7.1 x 10 ⁴	4.7 x 10 ⁵	5.0 x 10 ²	4.2 x 10 ⁵
2 (duplicado)	8.5 x 10 ⁴	4.4 x 10 ⁵	7.0 x 10 ²	3.9 x 10 ⁵

Tabla 2: Análisis de Varianza para el crecimiento de las levaduras

Fuente	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-Fc	Valor-p
Entre Niveles	2.1114	0.7038	2.69	0.0976
Entre Bloques	1.0	1.0	3.82	0.0764
Residuos	2.8775	0.261591		

Esto puede evaluarse gráficamente a través de la Figura 2. En dicha figura se observa que al escalonar los efectos de cada factor y de cada bloque, la varianza natural de los puntos del diagrama son comparables a la de los residuales, existe una gran dispersión, demostrando la inexistencia de significancia estadística, al no observarse agrupaciones o tendencias puntuales. Los datos utilizados fueron afectados por el logaritmo para que estén correctamente representados y así poder apreciar la real diferencia entre los mismos. Al graficar las medias de los niveles junto a sus intervalos de confianza en la Figura 3, los intervalos comparados de a pares se traslapan en dirección vertical, confirmando con una confianza del 95% del nivel de confianza lo expuesto en la figura anterior.

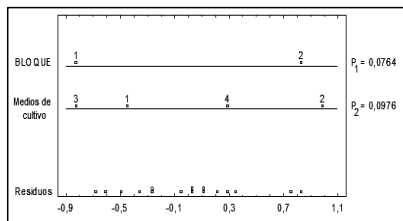


Figura 2: Análisis gráfico de ANOVA

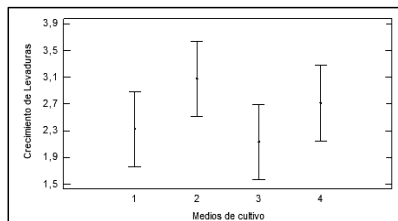


Figura 3: Intervalos de confianza de las medias (95% de confianza)

El gráfico de probabilidad normal de la Figura 4, realizado sobre los valores residuales, muestra el ajuste a una distribución normal. En el gráfico de la Figura 5 puede observarse una distribución aleatoria de los residuos por encima y por debajo de la línea del cero y la ausencia de tendencias que muestren desajustes a la normalidad de los datos. La prueba de Shapiro-Wilk en la que se obtiene un valor $p=0.718094$, confirma estas observaciones.

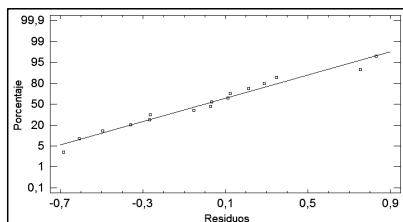


Figura 4: Gráfico de probabilidad normal de los residuos

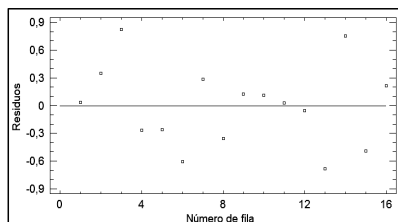


Figura 5: Gráfico de dispersión de los residuos

Conclusiones:

El estudio revela que no existen diferencias significativas entre los distintos niveles analizados, es decir, no se aprecian variaciones notables a un nivel del 95% de confianza, lo que demuestra que el crecimiento de la levadura no depende de la fuente de nitrógeno; así como tampoco se observa un incremento mayor del número de colonias de levadura del género *Rhodotorula* en presencia o ausencia del enriquecimiento. El crecimiento alcanzado por la cepa *Rhodotorula sp.* con el nitrógeno aportado por el extracto de levadura del medio base fue suficiente para alcanzar un número significativo de levaduras.

Debido a que se obtuvo en promedio 4.23×10^5 ufc/ml de levaduras del género *Rhodotorula* luego de 24 horas de incubación, se propone que para la realización de ensayos posteriores de degradación de efluentes grasos, el medio de cultivo base se debería incubar durante 48 horas para obtener un número de levaduras cercano a 10^7 ufc/ml.

Referencias:

- [1] Senses-Ergul, S; Ágoston, R; Belák, Á; Deák, T. *Characterisation of some yeasts isolated from foods by traditional and molecular tests*. Turkey. International Journal of Food Microbiology. 2006. Vol.108. pág. 120-124
- [2] Uribe Gutiérrez, L. A. *Caracterización Fisiológica de Levaduras aisladas de la Filósfera de Mora*. Colombia. Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, Facultad de Ciencias, Microbiología Industrial. 2007. Trabajo de Grado- Cap. 2. pág. 32-35.
- [3] Sarmiento, A; Herrera, J. *Obtención y Caracterización de un Banco de Levaduras con Potencial Aplicación Probiótica*. Colombia. Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, Microbiología Industrial. 2003. Trabajo de Grado- pág. 103
- [4] Villamil, Y; Zapata, Y. *Caracterización de Levaduras Fermentadoras Aisladas de Frutas en Descomposición con Potencial Aplicación Productora de Etanol*. Colombia. Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, Microbiología Industrial. 1999. Trabajo de Grado.
- [5] Mendoza Canales L. I. *Aislamiento y selección de hongos lipolíticos a partir de aceites vegetales de desecho (proveniente de frituras) utilizados en la elaboración de biodiesel*. Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Ciencias Biológicas. 2010. Trabajo de Grado.
- [6] Li, M; Liu, G. L; Chi, Z; Chi, Z. M. *Single Cell Oil Production from Hydrolysate of Cassava Starch by Marine-Derived Yeast *Rhodotorula mucilaginosa**. China . Journal of Biomass and Bioenergy. 2009. Vol. 34 (1).
- [7] Zhao, C. H; Zhang, T; Li, M; Chi, Z. M. *Single Cell Oil Production from Hydrolysates of Inulin and Extract of Tubers of Jerusalem Artichoke by *Rhodotorula mucilaginosa**. China. Journal of Process Biochemistry. 2010. Vol. 47 (7).
- [8] Fujii, E; Tunematsu, T; Kamimoto, Y; Kohda, J; Suehara, K; Nakano, Y; Yano, T. *Microbial Treatment of Oil Contained Wastewater Discharged from Industrial Kitchen*. Japan. Forestry and Fisheries Research Information Technology Center The Agriculture. Journal of Food Engineering. 2003. Vol. 4. pág. 123-129.
- [9] Suehara, K; Kawamoto, Y; Fujii, E; Kohda, J; Nakano, Y; Yano, T. *Biological Treatment of Wastewater Discharged from Biodiesel Fuel Production Plant with Alkali-Catalyzed Transesterification*. Japan. The Society for Biotechnology. Journal of Bioscience and Bioengineering. 2005. Vol. 100 (4). pág. 437-442.

- [10] PFA; UDEA. *Tecnologías avanzadas de oxidación aplicadas a la descontaminación de los efluentes líquidos asociados a la producción actual de biodiesel en Colombia*. Colombia. Universidad de Antioquia. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. 2001. Proyecto de investigación 188
- [11] Carrillo, L. *Los Hongos de los Alimentos y Forrajes*. Argentina. Universidad Nacional de Salta. 2003. Cap. 9. pág. 91-98.
- [12] Akzu, Z; Tugba Eren, A. *Carotenoids Production by the Yeast Rhodotorula Mucilaginosa: Use of Agricultural Wastes as a Carbon Source*. Turkey. Journal of Process Biochemistry. 2005. Vol. 40 (9).
- [13] Bonaly, R; Malenge, J.P. *The Biosynthesis of Cyclic Carotenoids in Rhodotorula Mucilaginosa and Rhodotorula Aurantiaca*. France. Journal of Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Lipids and Lipid Metabolism. 2002. Vol. 164 (2).
- [14] Fundibeq. *Diseño de experimentos*. www.Fundibeq.org. Última consulta 10/04/2012.
- [15] Kuehl, R. O. *Diseño de experimentos*. 2ª ed. Thompson Learning. 2001.
- [16] Montgomery, D. C. *Diseño y Análisis de Experimentos*. 2ª ed. Limusa-Wiley. 2002.
- [17] ICMSF. *Técnicas de Análisis microbiológico*. Microbiología de los Alimentos. Acribia, 1982.
- [18] Subcommittee on microbiological criteria. *An evaluation of the role of microbiological criteria for foods and food ingredients*. United States. Committee on Food Protection, Natl. Research Council, National Academy Washington. 1985. pág 256.
- [19] Pitt, J.I; Hocking, A.D. *Fungi and Food Spoilage*. 2da ed. London. Blackie Academic & Professional, 1997. Cap 4.
- [20] Pemán, J; Martín-Mazuelos, E; Rubio Calvo, M.C. *Guía Práctica de Identificación y Diagnóstico en Micología Clínica. " Identificación de Levaduras"*. 2ª ed. España. Revista Iberoamericana de Micología de Bilbao. 2007. Cap. 11.

MÓDULO GRÁFICO DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES

Ing. Martín Beccaría, UTN FRVM

1. Resumen

El proyecto desarrollado es un módulo que formará parte de la máquina seleccionadora de granos por color, modelo TC-1200 de la firma SELECA TECNOLOGÍA.

Básicamente este módulo está compuesto por una placa de adquisición de señales de resolución programable y de un software llamado VisorXY que corre sobre una PC industrial el cual es el encargado de mostrar esas señales emulando a un osciloscopio en modo X-Y, sumando a la pantalla de este emulado osciloscopio la posibilidad de visualizar la forma de variación de los parámetros de dicha máquina, los cuales son representados por rectas cuyas pendiente y ordenada al origen pueden ser ajustados también mediante el arriba descrito software.

Las señales a adquirir y graficar provienen de sensores ópticos de distintas longitudes de onda del espectro de luz a saber verde, rojo, azul e infrarrojo.

Esta adquisición y graficación de señales más a la posibilidad de cambiar los parámetros de selección desde este módulo hace que el proceso de calibración de la máquina sea totalmente gráfico con lo cual el mismo se torna más simple e intuitivo, permitiendo obtener mejores resultados.

2. Breve descripción del proceso de selección por color

Es el proceso mediante el cual logra separarse el producto (semillas, hojas, plástico, frutos, etc.) defectuoso del producto considerado óptimo, pudiéndose así mismo obtener distintas calidades de producto óptimo.

Las máquinas selectoras poseen sistemas electrónicos de detección y sistemas neumáticos como actuadores o eyectores.

En la siguiente figura 1 se muestra un esquema de dicho proceso.

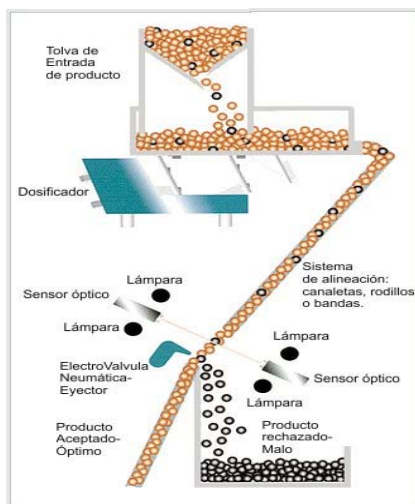


Figura 1 Proceso de selección

En la figura puede observarse como el producto pasa a través del sistema de alineación luego es examinado por los sensores ópticos y si es defectuoso es rechazado por los eyectores.

3. Objetivo del proyecto

Permitir realizar una calibración de los parámetros de selección de la máquina en 'tiempo real' y de forma gráfica, mediante la contrastación de las señales de los sensores con los parámetros de calibración que gráficamente se representan por rectas. Para ello dicho módulo deberá:

- Digitalizar las señales provenientes de los sensores ópticos de la máquina.
- Enviar estos datos digitalizados a una PC.
- Graficar en pantalla dichos datos, en un grafico X-Y “emulando” el funcionamiento de un osciloscopio en modo X-Y, de tal manera que las señales graficadas puedan apreciarse como en “tiempo real” conforme la figura 2.

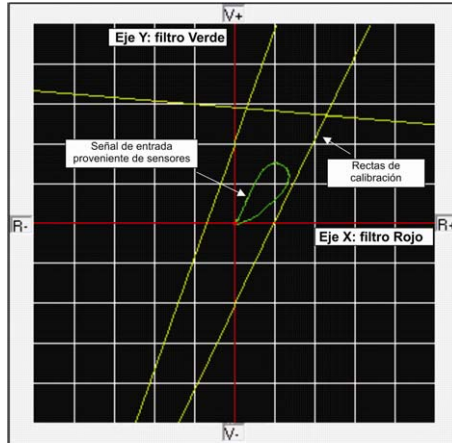


Figura 2 Vista de pantalla, modo X-Y

- Leer los parámetros de calibración guardados en la PC por el programa Interfaz original.
- Crear nuevos parámetros en el software de calibración que permitan la adaptabilidad del módulo a las distintas versiones de la máquina TC1200.
- Graficar las rectas de calibración (son la línea límite por encima de la cual los productos son considerados defectuosos) a medida que se varían sus parámetros de pendiente y desplazamiento.
- Poder realizar un efecto de zoom sobre la señal, para lo cual deberá poder atenuar o amplificar las señales a adquirir y redibujar los gráficos en función del zoom elegido.

4. Detalle de las señales a adquirir/digitalizar

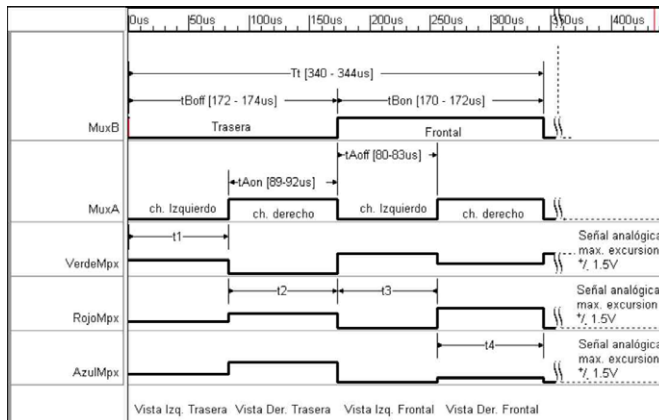


Figura 3 Señales a la placa de adquisición

En la figura 3 se muestran las tres señales a adquirir y digitalizar: Verde, Rojo y Azul_Mpx, las mismas provienen de los sensores ópticos y en cada una de ellas se hallan multiplexadas las señales de cuatro sensores (presentes en los intervalos t_1 a t_4 respectivamente) correspondientes

a cada uno de los sensores del grupo de 4 vistas elegido desde el programa. Estas señales son analógicas y tienen una excursión de $\pm 1.5V$.

Las señales digitales MuxA y MuxB son de sincronización y establecen en cada uno de los intervalos t_1 a t_4 a que sensor corresponden las señales analógicas verde, rojo y azul_mpx. Ej: en t_1 las señales verde, rojo y azul_mpx corresponden a los sensores verde, rojo y azul de la vista izquierda trasera. El período total T_t luego del que se repiten las todas señales es de aproximadamente 340usec, y es tiempo disponible para comparar las señales de las cuatro vistas contra las referencias y es también el tiempo del que dispondrá nuestro desarrollo para muestrear, digitalizar, enviar y graficar las señales de los 12 sensores o filtros (4 sensores por color).

Nuestra placa deberá muestrear las tres señales VerdeMpx, RojoMpx, AzulMpx dentro de cada uno de los intervalos t_1 , t_2 , t_3 y t_4 todo ello sin cronizado con los flancos ascendentes y descendentes de MuxA.

5. Placa de adquisición y comunicación

5.1. Principales funciones de placa

- Multiplexar la tres señales analógicas de entrada, VerdeMpx, RojoMpx y AzulMpx. A la salida de este multiplexor tendremos entonces una señal donde se halla multiplexada la información proveniente de 12 sensores.
- Acondicionar esta señal multiplexada a los fines de poder ser convertida a digital, este acondicionamiento abarca:
 - Atenuación o amplificación de la señal.
 - Suma de una componente de D.C. a la señal, para adecuarla al rango de entrada del A/D.
- Convertir a formato digital (a 8 bits de resolución y con una tasa máxima de muestreo de 71,42 Ksamples/seg) la señal ya acondicionada.
- Transmitir a una PC industrial, vía puerto paralelo, estas señales convertidas.
- Recibir comandos desde el USART de la PC, por ej. comandos que indican que ganancia deberá tener el amplificador de instrumentación que acondiciona la señal de entrada.

5.2. Bloques de la placa

En la figura 4 se puede ver el diagrama de bloques de la placa.

Primera etapa

Son seguidores de tensión colocados a la entrada con el fin de presentar muy alta impedancia a las señales de entrada provenientes de los distintos sensores ópticos.

Segunda etapa

Es la etapa multiplexora, a la salida de esta etapa se halla la señal multiplexada de los 12 sensores correspondientes 4 de ellos al rojo, 4 al verde y 4 al azul. El multiplexor es de tipo analógico CD4052 y es sincronizado por el microcontrolador tomando como referencia las mencionadas señales MuxA y MuxB.

Tercera etapa

Es un atenuador programable donde ingresa la señal multiplexada, aquí se atenúa la señal, según se especifica del programa VisorXY desde la PC, el rango de atenuación va desde 1 a 4.5. Esta etapa fue implementada con un potenciómetro ajustable digitalmente AD5204.

Cuarta etapa

Es un amplificador de instrumentación de ganancia programable, cuya ganancia la especifica el programa VisorXY desde la PC en función del control mV/división del mismo. A la señal de salida del amplificador se le suma una tensión de off set con el fin de adaptarla al rango del convertidor A/D. Su implementación se lleva a cabo un amp. Op. TL084 y utilizando como otro potenciómetro digital del AD5204.

Quinta etapa

A/D incluido en el μ controlador, convierte a 8 bits de resolución y a 71,42 Ksamples/seg, tasa de muestreo surgida del análisis de la señal a muestrear. El rango de entrada es de 0-3V, y la sincronización de los instantes de muestreo se hace en base a las señales MuxA y MuxB.

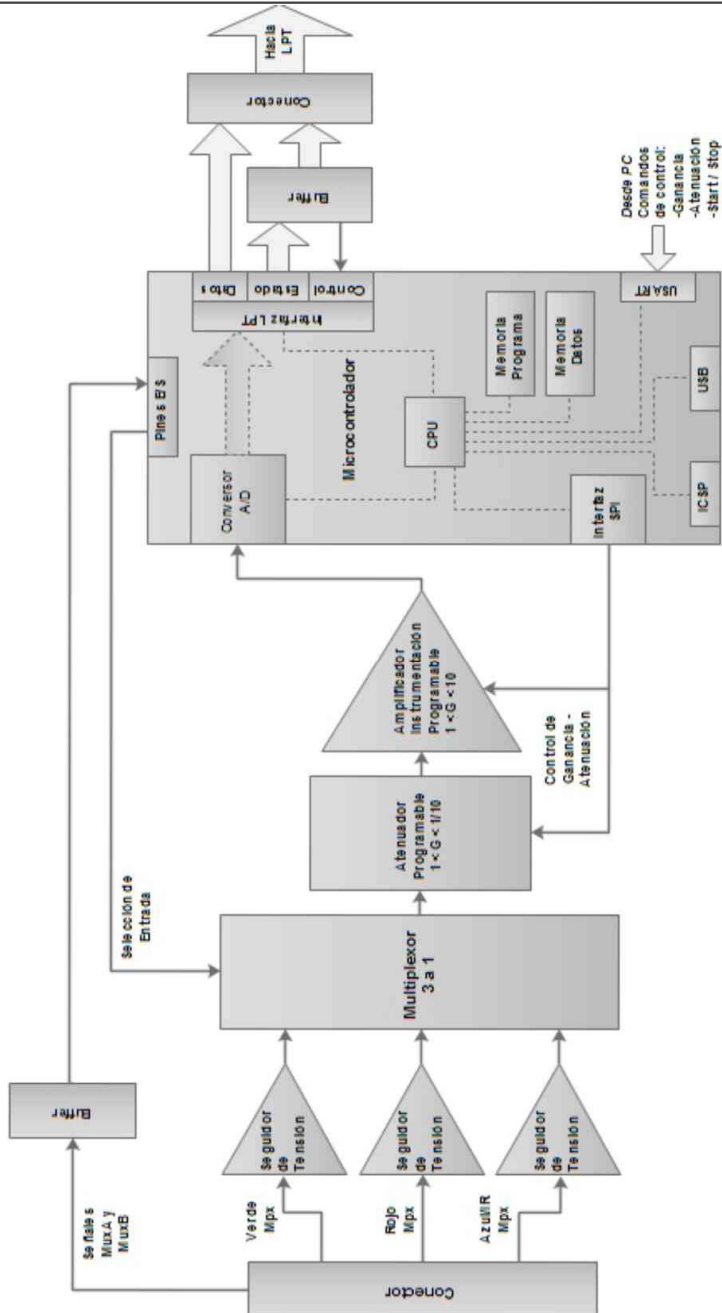


Figura 4 Diagrama de bloques Placa Adquisición

Sexta etapa

Es la interfaz con el puerto paralelo de la PC, aquí a través de los tres buses del puerto datos, control y estado, y usando handshaking se envían los datos a la PC.

Séptima etapa

Es la etapa de control de la placa, el microcontrolador recibe comandos desde la PC por medio del usart y a través de los pines de E /S controla y sincroniza al multiplexor, luego por medio de la interfaz SPI controla la atenuación y ganancia del atenuador programable y de I amplificador programable respectivamente.

5.3. Detalle de las etapas más importantes

Atenuador Programable

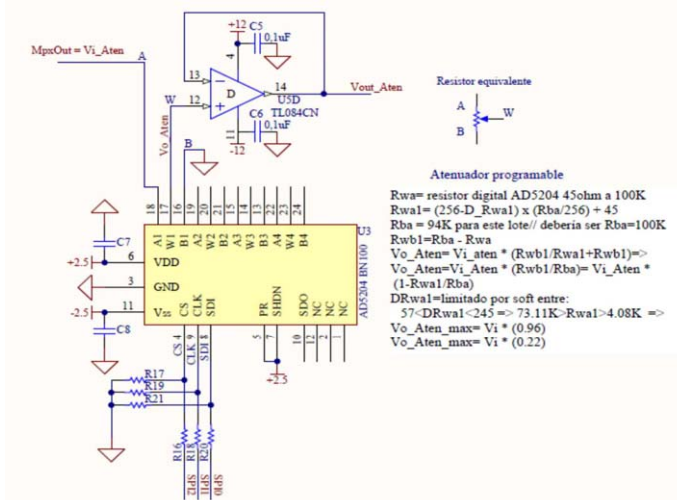


Figura 5 Atenuador Programable

En la figura vemos como la señal de entrada $MpxOut$ proveniente de la anterior etapa llega al pin A del resistor equivalente cuyo punto medio W es conectado a la entrada del seguidor y el punto B es conectado a chasis, de esta forma V_{out} será:

$$V_{O_{Aten}} = V_{i_{Aten}} \cdot \frac{R_{WB}}{R_{BA}} \quad (4.1)$$

Con lo cual vemos que el valor de atenuación varía conforme se varía el potenciómetro digital.

Amplificador de Instrumentación programable

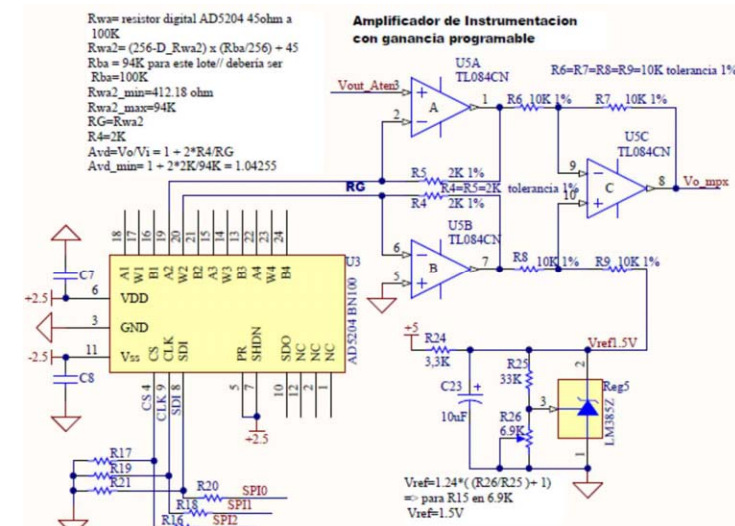


Figura 6 Amplificador de instrumentación de ganancia programable

El amplificador está implementado con el circuito integrado U5 y la resistencia que controla su ganancia R_G es uno de los potenciómetros digitales de U3 (AD5204), pudiendo de esta manera modificar su ganancia desde el soft VisorXY mediante la transmisión de un comando ya que la ganancia diferencial del amplificador es:

$$G_D = -\frac{R_7}{R_6} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R_4}{R_G}\right)$$

6. Software VISOR XY

La implementación del software VisorXY se llevó a cabo con VisualC++ 6.0, el cual permite el desarrollo de interfaces gráficas, es orientado a objetos y trabaja con MFC (Microsoft Foundation Classes).

Principales funciones del software de VisorXY:

- Graficar las señales adquiridas en un sistema de ejes, en donde tanto los valores de X e Y corresponden a algunas de las señales de dichos sensores.
- Lograr un efecto de visualización similar al que brinda un osciloscopio analógico con TRC.
- Graficar sobre dichos sistemas de ejes rectas cuyas pendiente y desplazamiento son variables de ajuste modificables por el operador mediante este software.
- Generar a través del puerto serie las señales de control para el hardware.
- Permitir al operador elegir las señales y rectas de calibración a visualizar.

La siguiente es una captura de cómo luce el programa en plena ejecución:

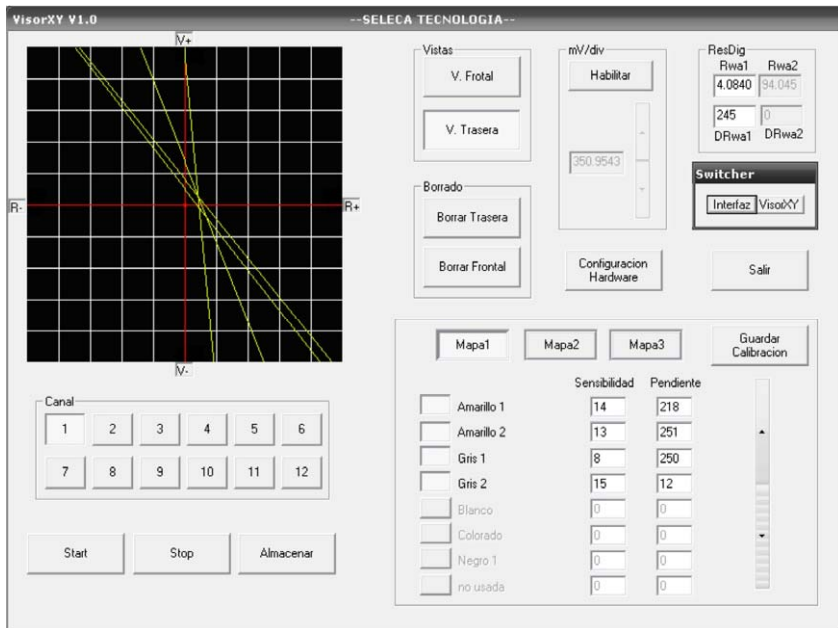


Figura 7 Captura de soft VisorXY en plena ejecución

6.1. Principales comandos

Botones Start y Stop: son los que inician y detienen la adquisición y graficación de señales.

Control mV/div: es el que nos permite realizar en zoom sobre la señal.

Botones de mapa, canal sensibilidad y pendientes: parámetros de calibración de la máquina, controlan la posición de las rectas en pantalla.

Botones de Vistas: nos permiten elegir cual de las vistas queremos visualizar o si queremos visualizar ambas simultáneamente.

7. Conclusión

Mediante la implementación del presente proyecto fue posible facilitar el proceso de calibración de la selectora, haciéndola más gráfica e intuitiva, con lo que debería obtenerse una máquina mejor calibrada por parte de los operarios de planta, con el consecuente ahorro de dinero. También este módulo aporta en la competitividad de la máquina frente a otros productos importados que hay en el mercado, los cuales también ofrecen este tipo de calibración gráfica.

■ EVALUACION DE NITRATOS, NITRITITOS Y CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA EN AGUA ENVASADA PARA CONSUMO HUMANO.

María Eugenia Guerín, María Alejandra G. Liboa,
Tutor: Graciela Marín,
Laboratorio Físico-Químico y Microbiológico,
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María. Av. Universidad 450 - (5900)
Villa María (Cba.).
Email: aleliboa5@hotmail.com; euge_guerin@hotmail.com

Resumen:

Se determinaron nitratos, nitritos y parámetros microbiológicos en agua de bebida envasada disponible en el mercado de distintas marcas y orígenes, evaluando su calidad con los parámetros establecidos en las normas del artículo N° 983 del Código Alimentario Argentino; reguladas por la Dirección de Agua y Saneamiento de la provincia de Córdoba.

Las muestras de aguas envasadas fueron determinadas mediante el manual de técnicas y procedimientos analíticos estándares del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Los nitratos se analizaron por el método espectrofotométrico por barrido ultravioleta, los nitritos por el método colorimétrico y los análisis microbiológicos por la determinación de las bacterias aerobias mesófilas (heterotróficas), coliformes totales por fermentación en tubos múltiples, coliformes fecales, *Pseudomona aeruginosa* confirmando su presencia por aislamiento en agar cetrimide.

Los resultados microbiológicos de las 19 muestras procesadas concluyeron que el 28.6% son aptas para el consumo, el 28.6% presentan un peligro potencial por la presencia de *Pseudomona*, el 28,6% presenta altos números de unidades formadoras de colonias (UFC), que pueden simplemente indicar que hay contaminación en el proceso de embotellado y del 14.2% restante solo se puede objetar que presentan un recuento levemente superior a lo permitido. En cuanto al contenido de sales de las 10 muestras analizadas, los resultados están dentro de los valores establecidos por la legislación vigente.

Introducción:

El objetivo de este estudio fue evaluar nitratos, nitritos y parámetros microbiológicos en agua de bebida envasada disponible en el mercado, y determinar su calidad mediante la comparación de resultados obtenidos con límites establecidos en la resolución 608/93 de la provincia de Córdoba; normas reguladas por la Dirección de Agua y Saneamiento [D.A.S., 1994].

Los parámetros de calidad están dados a nivel nacional por el Código Alimentario Argentino que define en su artículo N° 983: "*Se entiende por agua de bebida envasada o agua potabilizada envasada a un agua de origen subterráneo o proveniente de un abastecimiento público, al agua que se comercialice envasada en botellas, contenedores u otros envases adecuados, provistos de la rotulación reglamentaria y que cumpla con las exigencias del presente artículo. La utilización de un agua proveniente de un suministro público queda condicionada a la aprobación de la autoridad competente, la que se deberá ajustar a las pautas sanitarias existentes*", indicando luego los estándares de calidad que debe cumplir [C. A. A., 1998].

La existencia de microorganismos patógenos en el agua para consumo puede provocar intoxicaciones, en algunos casos agudas. Para identificar su presencia se utilizan microorganismos indicadores, como lo es la *Scherichia Coli* para el grupo de organismos coliformes y la *Pseudomona aeruginosa*. La primera fue adoptada internacionalmente como indicador de contaminación fecal, por ser la más resistente que las bacterias entéricas, patógenas

y por encontrarse en gran cantidad en la materia fecal del ser humano y animales de sangre caliente. Mientras que la segunda refleja una deficiencia en la higiene, son bacterias que se hallan con cierta frecuencia aún en aguas cloradas de red, incluso en ausencia de coliformes. No se encuentra con frecuencia en el agua embotellada, cuando esto ocurre generalmente existe una posible contaminación durante el proceso de embotellado. Su presencia en los sistemas de almacenamiento, tanques y cisternas, tiene como probable causa el estado deficiente de dichas instalaciones. Los límites establecidos en la legislación provincial para coliformes totales es <2.2 NMP/100mL y para *Pseudomona aeruginosa* es de ausencia para ésta bacteria [D.A.S., 1994].

En el caso de las sustancias químicas son pocas las que pueden causar problemas agudos de salud, salvo por contaminación accidental masiva del abastecimiento. Si bien es menos frecuente este tipo de contaminación, merecen atención por su frecuencia los nitratos [Dr. Jara, J. H., 1997]. Los nitratos ingeridos tienen relativamente baja toxicidad por sí mismo, son rápidamente absorbidos en el estómago y se excretan con la orina, las intoxicaciones no son comunes; su gravedad depende del nivel de reducción a nitritos. Los nitratos y nitritos contenidos en el agua de bebida, pueden provocar cianosis por metahemoglobinemia en los lactantes, la ingestión de nitrito produce la aparición más rápida de efectos clínicos y el límite tolerable para este ión es correspondientemente más bajo que para el nitrato. Los límites establecidos por las normas vigentes en la provincia de Córdoba, reguladas por D.A.S. para nitratos es de 45 mg/L, en tanto que para nitritos es de 0.1 mg/L [D.A.S., 1994].

Se debe recordar que una vez que el contenedor está lleno y sellado, el agua envasada, puede permanecer almacenada durante semanas o a veces meses. Ya que la desinfección no es sinónimo de esterilización, cualquier bacteria presente se adherirá a los lados o inferior del contenedor y se multiplicará gracias a pequeñas porciones de materia orgánica presente en el agua. Este material orgánico puede variar sustancialmente en cantidad y tipo, dependiendo de la fuente de agua, aunque en la mayoría de los casos, el nivel de materiales orgánicos sea bajo, muchos de los microorganismos presentes se adecuan a estas condiciones. Así, el agua que contiene pocos organismos, una vez embotellada, puede presentar un aumento exponencial del número de bacterias [Díaz y col., 2007]. El límite establecido para el recuento de bacterias aerobias heterotróficas es de 100 UFC/L [D.A.S., 1994].

Materiales y Métodos:

Se analizaron en total 19 muestras de aguas envasadas. Las mismas se extrajeron de bidones de 20L (cerrados y/o abiertos), botellas de 500cc y 1,65L de las marcas más reconocidas en el mercado (por cuestiones de confidencialidad las mismas no son mencionadas en el presente trabajo). En el caso de los bidones se realizó el muestreo del agua directamente de los bidones y de los mismos una vez colocados en sus respectivos dispensers, tanto del grifo de agua fría, como caliente. Las aguas envasadas en diferentes recipientes nombrados anteriormente estaban comprendidas en el período intermedio entre la fecha de envasado y fecha de vencimiento. La toma de muestra y los volúmenes extraídos se realizaron según [ISO5667-3, 1994; APHA y col. 2005] a las que se les realizaron, según las técnicas indicadas en cada caso, las siguientes determinaciones:

- Análisis de nitratos y nitritos: La determinación se realizó por la técnica estándar del SMWW, en el caso de nitratos por el método espectrofotométrico por barrido ultravioleta 4500 NO- 3 B y nitritos por el método colorimétrico 4500 NO-2 B [APHA y col 2005].
- Análisis microbiológicos: La determinación de las bacterias aerobias mesófilas (heterotróficas) totales en agua, se realizó según la técnica de recuento de heterótrofos totales en placa fluida (9215 A y B), los coliformes totales por fermentación en tubos múltiples utilizando caldos lauril sulfato y Mc Conkey y el resultado fue expresado según la técnica del número más probable (NMP). En cuanto a la identificación de coliformes fecales, se sembró por aislamiento en placas con agar eosina azul de metileno, aquellos tubos que dieran positivos en coliformes (9221 C). Por otro lado, la detección y recuento de *Pseudomona aeruginosa* se efectuó según

la técnica de tubos múltiples (9213 F), indicándose presencia o ausencia en 100mL, confirmándose su presencia por aislamiento en agar cetrímide [ICMSF., 1982; APHA y col. 2005].

- Observación de otras características: Se tuvieron en cuenta algunos detalles del envase de agua como las fechas de elaboración y vencimiento, rotulación, tiempo de almacenaje hasta su colocación en el dispenser, entre otros.

Resultados y discusión

Se observó en los bidones para agua envasada que en su gran mayoría no presentan fecha de elaboración ni vencimiento, no poseían rótulo identificatorio del establecimiento elaborador, suciedad exterior, desgaste de los mismos y también en uno de ellos presencia de algas. En cuanto al período entre las distintas fechas de elaboración y la fecha de funcionamiento del recipiente en el dispenser, se tuvo en cuenta que cuando los bidones se encuentran bien almacenados, no incide el período de espera en el recuento total. Los envases del agua mineral se encontraban correctamente rotulados, obedeciendo todos los requisitos impuestos por la legislación vigente.

En las muestras de agua tomadas directamente del bidón cerrado, el cual posteriormente fue colocado en el abastecedor de agua para una siguiente toma de otra muestra desde grifo del mismo; comparando los resultados se observó una reducción del recuento total de casi el 60%. Esto puede estar asociado a la ausencia de oxígeno a la que es sometida el agua al transitar por la tubería del equipo, además de la refrigeración de la misma, que también retarda el crecimiento.

En el caso de la muestra de agua caliente se reduce aproximadamente en un 100% sin presencia de *Pseudomonas aeruginosa*, lo cual puede asociarse a la temperatura adquirida por el agua en el dispenser que ronda entre 70-80 °C, donde se produce una esterilización por la acción del calor sobre las bacterias.

El 66% de las aguas minerales naturales presentó un alto recuento total de bacterias aerobias, a diferencia de las mineralizadas que no presentaron contaminación alguna.

Las aguas minerales se encontraban todas correctamente rotuladas, obedeciendo todos los requisitos impuestos por la legislación vigente [C. A. A., 1998].

Los resultados de los análisis físico-químicos realizados a 10 muestras provenientes de distintos orígenes son presentados en la Tabla 1.

Tabla 1: Contenido de nitratos y nitritos en muestras de aguas envasadas.

Muestra N°	Nitratos (ppm)	Nitritos (ppm)
1	26,43	0,029
2	19,00	0,092
3	18,59	0,013
4	4,17	0,052
5	43,57	0,069
6	39,76	0,014
7	0,98	0,015
8	<1	0,037
9	2,823	0,034
10	<1	0,041

Para los análisis microbiológicos se recogieron 19 muestras de distintos orígenes cuyos resultados son expuestos a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2: Resultado microbiológico y procedencia de 19 muestras de agua envasada.

Muestra N°	Lugar de la toma de muestra. Características	Bacterias Aerobias (UFC/mL)	Coliformes Totales (NMP/100mL)	P. Aueroiginosa (100mL)
1	Bidón cerrado	< 1	< 2	Ausencia
2(*)	Bidón cerrado	1289(**)	< 2	Ausencia
3	Bidón cerrado	98	< 2	Ausencia
4(*)	Dispenser, grifo agua temperatura ambiente	110(**)	< 2	Ausencia
5(*)	Dispenser, grifo agua temperatura ambiente	3820	< 2	Ausencia
6(*)	Dispenser; Bidón puesto el día de muestreo; grifo de agua refrigerada	> 5700(**)	< 2	Presencia(**)
7	Botella agua mineral natural de manantial. Botella cerrada	1	< 2	Ausencia
8	Botella Agua mineralizada artificialmente. Botella cerrada	1	< 2	Ausencia
9(*)	Botella Agua mineral de manantial. Botella cerrada	2123(**)	< 2	Ausencia
10(*)	Botella Agua mineral de natural. Botella cerrada	2095(**)	< 2	Ausencia
11(*)	Dispenser. Grifo, agua refrigerada	310(**)	< 2	Presencia(**)
12(*)	Bidón	2700(**)	< 2	Presencia(**)
13(*)	Dispenser. Grifo, agua refrigerada	270(**)	< 2	Ausencia
14(*)	Bidón	800(**)	< 2	Ausencia
15	Dispenser. Grifo, agua caliente	< 1	< 2	Ausencia
16(*)	Dispenser. Grifo, agua refrigerada	2800(**)	< 2	Presencia(**)
17(*)	Bidón	>6500(**)	< 2	Presencia(**)
18(*)	Dispenser. Grifo, agua refrigerada	860(**)	< 2	Ausencia
19(*)	Bidón	1100(**)	< 2	Ausencia

Referencias: (*) Muestras que no cumplen con la legislación provincial. (**) Valores por encima del límite permitido.

La calidad del agua puede alterarse durante el proceso, desde la producción hasta la distribución a los consumidores. Los procesos que se utilizan en el tratamiento del agua purificada son teóricamente de buena calidad. Generalmente el manejo que se le da al envase en esta etapa, puede no ser el óptimo, existiendo factores de contaminación del recipiente: mala manipulación del personal, desinfección inadecuada o un almacenamiento incorrecto. Al comercializarse el agua en envases retornables aumenta la probabilidad de un alto riesgo implícito.

Un alto porcentaje de bacterias se encuentran en los reservorios de los abastecedores de agua, obteniendo como resultado la formación de un biofilm; para evitarlo se realiza un adecuado mantenimiento del mismo, comúnmente ofrecido por la empresa distribuidora. Cuando se procede al cambio de un bidón vacío a un bidón con agua, este último sirve de fuente de material orgánico, que es accesible a los organismos residuales. Los reservorios son semejantes a un sistema abierto donde su contenido bacterial esta correlacionado con la cantidad de agua fresca que ingrese al dispenser, es decir, se añade más material orgánico [Díaz y col. 2007]. Es relevada importancia limpiar y esterilizar periódicamente estas unidades con una solución de lejía, para minimizar los potenciales problemas.

Conclusiones

De un total de 19 muestras analizadas microbiológicamente: 5 resultaron ser totalmente aptas para el consumo humano, 5 presentan crecimiento de *Pseudomonas*, 11 mostraron altos recuentos de unidades formadoras de colonias y de las 3 restante solo se puede objetar que presentan un recuento levemente superior a lo permitido. En el caso de las UFC indican una presunta contaminación en el proceso de embotellado y el contenido de *Pseudomonas* implica un peligro potencial para la salud, sobre todo para las personas inmunodeprimidos.

En la evaluación del contenido de nitratos y nitritos, el resultado de las 10 muestras se encuentra dentro de los límites estipulados por la legislación vigente.

Se considera necesario establecer medidas de control con relación a las condiciones sanitarias de los envases que se utilizan para el transporte del agua embotellada.

Referencias:

APHA; AWWA; WPCF. American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Facilities. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th.*

C. A. A. Código Alimentario Argentino. 1998. *Actualización Acumulada Ley18.284.* Buenos Aires, Argentina. Ediciones Marsocchi. págs. 461-496.

D.A.S, Sistema Provincial de Control de Calidad. 1994. *Normas Provinciales de Calidad y Control de Agua para Bebida, Resolución Di.P.A.S. 608/93.* Córdoba. vol. I.

Díaz, J.C; Caraballo, H; Villareal, M; Lobo, A; Rosario, J; Briceño, J; Gutiérrez, G; Díaz, S. 2007. *¿El Agua Embotellada es Adecuada para Nuestro Consumo?* Venezuela. vol. VI. 11:2-12.

Dr. Jara, J. H. Instituto Nac de Epidemiología. 1997. *Curso de Epidemiología de las Enfermedades Transmitidas por Alimentos.* Mar del Plata : Estructura modular 2, Módulo 4 Control del Medio.

ICMSF., International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1982. *Microbiología de los Alimentos - Técnicas de Análisis Microbiológico.* Acribia.

ISO5667-3. International Organisation for Standardisation. 1994. *Guía para la conservación y manipulación de muestras.* parte 3. Norma Europea.

INTERACCIÓN DE QUITOSANO CON ESPECIES REACTIVAS DE OXÍGENO

Noelia L. Vanden Braber^{1†}, Nadia Z. Comba^{2§}, Virginia Gonzalez Estevez^{2*}

Tutoras: María L. Boiero², Mariana A. Montenegro^{1,2}

E-mail: noeliavanden@gmail.com

¹ Instituto A.P. de Ciencias Básicas y Aplicadas, UNVM, Campus Universitario Arturo Jauretche 1555, Villa María, Córdoba, Argentina. ² Departamento de Química. Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Villa María, Av. Universidad 450. Villa María. Córdoba. Argentina.

[†] Ingeniera en Tecnología de los Alimentos. [§] Alumna de Ingeniería Química. ^{*} Alumna de Maestría en Tecnología de los Alimentos.

RESUMEN

El quitosano (Ch) es un polisacárido formado por unidades de β -(1 \rightarrow 4)-2-acetamido-D-glucosa y β -(1 \rightarrow 4)-2-amino-D-glucosa. Constituye un derivado de la quitina, obtenido por deacetilación alcalina de la misma. Este polímero presenta funciones biológicas destacadas como actividad antimutagénica, antimicrobiana, antioxidante y acción inmuno estimulante. (Aranza y col., 2009).

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la capacidad antioxidante de Ch frente a dos de las Especies Reactivas de Oxígeno (EROS): el radical hidroxilo (\cdot OH) y el anión superóxido ($O_2^{\cdot-}$). Estas especies radicalarias son fuente de numerosos perjuicios para el hombre, puesto que su inestabilidad y su rápida capacidad de reacción le otorgan un papel fisiológico importante en enfermedades como el cáncer, y en el detrimento de alimentos por la incesante degradación de sus nutrientes (Valko y col., 2007).

El estudio consistió en analizar la capacidad antioxidante de Ch con dos grados de deacetilación (GDA) diferentes (70% y 90%) frente a trolox (Tr), antioxidante de referencia. Los resultados obtenidos, expresados como Capacidad Antioxidante Equivalente a Trolox (TEAC), mostraron una importante actividad antioxidante del Ch frente a las EROS en estudio. A su vez, se pudo observar que el grado de deacetilación afecta dicha capacidad.

1. INTRODUCCIÓN

La formación de radicales libres de oxígeno es una consecuencia inevitable en organismos aeróbicos, con ellos se desencadenan una serie de reacciones difíciles de controlar que pueden derivar en enfermedades cardiovasculares, diabetes, entre otras.

La aplicación del Ch en la industria de los alimentos y la medicina ha demostrado numerosos beneficios, mejorando los efectos protectores contra infecciones asociadas a patógenos, presentando actividad antifúngica y antimicrobiana, jugando un rol importante en enfermedades como la artritis, el Alzheimer, el cáncer y las úlceras gástricas (Je y col., 2004).

El uso de este polisacárido como antioxidante está en creciente investigación, ya que es el segundo más abundante en la tierra después de la celulosa y no presenta toxicidad alguna.

1.1. Estructura Química del Quitosano

Como se ha mencionado anteriormente, el Ch constituye un derivado de la quitina, obtenido por deacetilación alcalina de la misma. Las estructuras químicas de ambos compuestos se muestran en la Figura 1.

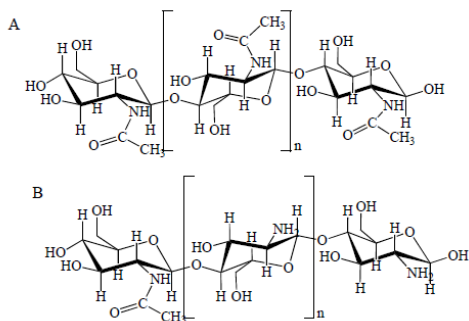


Figura 1. Quitina 100% acetilada (A). Quitosano (B).

La solubilidad de la quitina y sus derivados guarda una relación directa con la cantidad y la organización de los grupos acetamido (-NH-CO-CH₃), ya que los hidrógenos de los grupos hidroxilo (-OH) establecen puentes con el oxígeno de su grupo carbonilo, otorgando a la molécula una estructura semi-cristalina. La ubicación de estos grupos en la cadena da lugar a distintas variedades polimórficas (α , β y γ), la forma β presenta las cadenas alineadas en paralelo, estableciendo un mayor orden molecular y facilitando su manipulación (Pillai y col., 2009).

La solubilidad del Ch en medios acuosos es uno de los factores limitantes para su utilización, el GDA y el peso molecular son características muy importantes para mejorar dicho factor; se precisan condiciones ácidas para protonar los grupos (-NH₂) y otorgarle la posibilidad de formar puentes hidrógeno con el agua, logrando que se encuentre en solución; por esta razón, en determinadas circunstancias, se requiere de aplicar una hidrólisis enzimática o ácida como tratamiento previo a su agregado, ya que no todas las matrices son capaces de albergarlo en condiciones apropiadas de pH.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

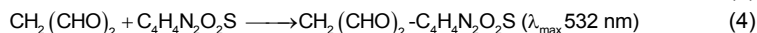
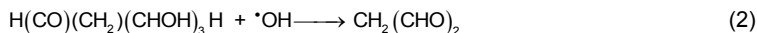
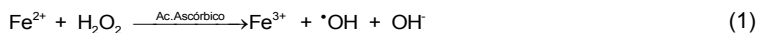
2.1. Reactivos

Los Ch de GDA 70% y 90%, Tr, clorhidrato de nitroazul de tetrazolio (NBT) y 2-Desoxi-D-ribosa fueron obtenidos de Sigma-Aldrich (MO). Mientras que FeCl₃, H₂O₂, KH₂PO₄, ácido ascórbico, ácido tricloroacético (TCA) y clorhidrato de hidroxilamina, todos ellos de grado analítico, se obtuvieron de Biopack (Buenos Aires, Argentina). Los ácidos tiobarbitúrico (TBA) y etilendiaminotetraacético (EDTA), fueron provistos por Merck.

Las soluciones acuosas se prepararon con agua bidestilada.

2.2. Desactivación del radical hidroxilo (\cdot OH): Método de la Desoxirribosa

El radical hidroxilo (\cdot OH) se generó por la reacción de Fenton (Ec. 1) dando lugar a la formación de malonaldehído (MAD) por oxidación de la 2-Desoxi-D-ribosa (Ec. 2). El MAD en presencia de TBA forma un aducto ($\lambda_{\text{máx}}$: 532 nm) cuya inhibición se tradujo a comportamiento antioxidante de Ch (Ec. 3-4).



Procedimiento

En tubos de vidrio se colocó el volumen pertinente de cada reactivo en el orden establecido en la Tabla 1, expuesta a continuación. Una vez realizado el ensayo se midió la absorbancia a una longitud de onda de 532 nm.

Tabla 1. Procedimiento radical hidroxilo ($\cdot\text{OH}$)

Reactivo	Concentración (mM)	Volumen (μL)
Buffer Fosfato pH 7,4	50	400
2-Desoxi-D-ribosa	10	560
H_2O_2	100	50
FeCl_3	1	50
EDTA	5	40
Agua Bidestilada/ Solución AOX.	-	860
Ácido Ascórbico	5	40
1 hora a 37 °C		
20 minutos en baño de agua hirviendo		
Ácido TBA	1 %	1000
Ácido TCA	2,8 %	1000

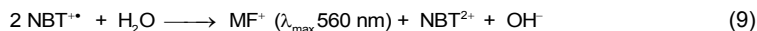
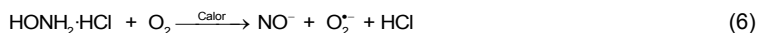
El % de desactivación (%D) del radical hidroxilo ($\cdot\text{OH}$) fue calculado de acuerdo a la Ec. 5,

$$\%D = \frac{A_0 - A_x}{A_0} \times 100 \quad (5)$$

Donde A_0 es el valor de absorbancia a la longitud de onda de cada experimento obtenida para la solución control sin Ch o el compuesto de referencia Tr, y A_x es el valor de absorbancia en presencia de estos compuestos.

2.3. Desactivación del anión superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$)

El anión superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$) fue generado por la autooxidación del clorhidrato de hidroxilamina (Ec. 6), el estudio se basó en la inhibición de la formación de monoformazan (MF^+) ($\lambda_{\text{máx.}}$ 560 nm) por reducción del azul de nitrotetrazolium (NBT^{2+}) (Ec. 7-9).



Procedimiento

En tubos de vidrio se colocó el volumen pertinente de cada reactivo en el orden establecido en la Tabla 2, expuesta a continuación. Una vez realizado el ensayo se midió la absorbancia a una longitud de onda de 560 nm.

Tabla 2. Procedimiento anión superóxido ($O_2^{\cdot -}$)

Reactivo	Concentración (mM)	Volumen (μ L)
Buffer Fosfato pH 8	50	500
NBT	1	360
EDTA	1	300
Agua Bidestilada/ Solución AOX.	-	400
Clorhidrato de Hidroxilamina	6	500
1 hora a 37 °C		

El % de desactivación (%D) del anión superóxido ($O_2^{\cdot -}$) fue calculado de acuerdo a la Ec. 5.

3. RESULTADOS

3.1. Radical Hidroxilo (\cdot OH)

La Figura 2 muestra el % D del radical \cdot OH por los Ch con GDA 70% y 90% y por Tr. En la misma se observa que Ch con GDA 90% presenta una mayor eficiencia de desactivación en todo el rango de concentraciones analizado.

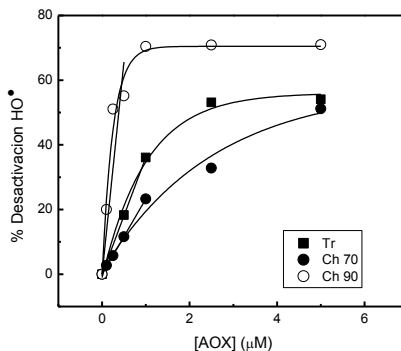


Figura 2. % Desactivación del radical hidroxilo (\cdot OH).

La actividad antioxidante de cada compuesto se expresa como la Capacidad Antioxidante Equivalente a Trolox (TEAC) a partir de las pendientes iniciales del gráfico de % de desactivación (Figura 2), la misma fue calculada según la Ec. 10,

$$TEAC = \frac{m_x}{m_0} \quad (10)$$

Donde m_x corresponde la pendiente inicial de la curva de Ch y m_0 a la pendiente inicial de la curva de Tr.

Los valores de TEAC se presentan en la Tabla 3. Observándose que Ch con GDA 90% presenta una capacidad antioxidante cuatro veces mayor que la del antioxidante de referencia Tr. Mientras que Ch con GDA 70% presentó una actividad antioxidante frente a $\cdot\text{OH}$ equivalente al 60% de la presentada por Tr.

Tabla 3. TEAC para Ch con GDA 70% y 90%

Ch	TEAC	
	$\cdot\text{OH}$	$\text{O}_2^{\cdot-}$
70% GDA	0,65	0,50
90%GDA	3,63	0,44

3.2. Anión Superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$)

El % D del anión ($\text{O}_2^{\cdot-}$) por los Ch con GDA 70% y 90% y por Tr se presenta en la Figura 3. En la misma se observa que la reactividad frente a $\text{O}_2^{\cdot-}$ es fuertemente dependiente de la concentración de Ch siendo mayor a concentraciones superiores.

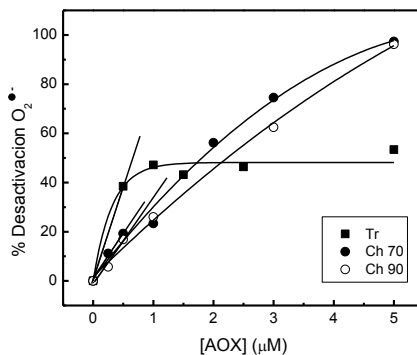


Figura 3. % Desactivación del anión superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$).

Como en el caso del $\cdot\text{OH}$ la capacidad antioxidante de los compuestos estudiados fue expresada por el valor de TEAC (Tabla 3), calculados a partir de las pendientes iniciales de las curvas mostradas en la Figura 3 de acuerdo a la Ec. 10.

Se observa que por debajo de $1,5 \mu\text{M}$, la actividad antioxidante de ambos Ch es inferior a la del Tr. Mientras que por encima de esta concentración, el %D de ambos Ch supera al del Tr, siendo mayor el del Ch con un 70% de deacetilación.

4. Conclusiones

Según Kim y Thomas (2007) la presencia de los grupos -NH_2 está intrínsecamente ligada a la actividad antioxidante del Ch, la disponibilidad de un par de electrones libres en este grupo funcional da lugar a la captación de protones H^+ desde el medio, los mismos posteriormente serán cedidos a los radicales libres que forman parte de la cadena de reacciones que constituyen la degradación oxidativa, formando moléculas más estables y evitando la concreción de dicho fenómeno. En el Ch de elevado peso molecular, la actividad antioxidante se relaciona, de manera más representativa, a un efecto quelante de metales pro-oxidantes. De este modo, puede considerarse que el Ch puede actuar como antioxidante tipo I y tipo II, respectivamente.

Se puede concluir que para la desactivación del radical hidroxilo (OH^\bullet) el grado de deacetilación de la molécula de Ch juega un rol protagonista, desactivando en mayor proporción aquél que se encuentra con una mayor disponibilidad de grupos -NH_2 (Ch con un 90% de deacetilación).

En el caso del anión superóxido ($\text{O}_2^{\bullet-}$), los resultados presentan una mayor complejidad. Según los valores de TEAC a los que se arribó, la capacidad antioxidante de cada Ch, por debajo de una concentración de $1,5 \mu\text{M}$, no presenta diferencia notable y muestran, ambos, una capacidad antioxidante inferior a la del Tr. Por encima de dicha concentración, ambos Ch desactivan más que el antioxidante de referencia, pero el Ch con un 70% de deacetilación presenta un %D mayor para todas las restantes concentraciones. Se concluye para este caso, que aquello que marca una exclusiva importancia en la desactivación del anión superóxido ($\text{O}_2^{\bullet-}$) es la concentración en la que se encuentre el antioxidante en estudio.

5. REFERENCIAS

- Aranaz, I.; Mengibar, M.; Harris, R.; Paños, I.; Miralles, B.; Acosta, N.; Galed, G.; Heras, A. (2009). Functional Characterization of Chitin and Chitosan. *Current Chemical Biology*, 3: 203-230.
- Valko, M.; Leibfritz, D.; Moncola, J.; Cronin, M.T.D.; Mazura, M.; Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 39: 44-84.
- Je, J. Y.; Park, P. J.; Kim, S. K. (2004). Free radical scavenging properties of hetero-chitooligosaccharides using an ESR spectroscopy. *Food and Chemical Toxicology*, 42: 381-387.
- Pillai, C. K. S.; Paul, W.; Sharma, C. P. (2009). Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation. *Progress in Polymer Science*, 34: 641-678.
- Kim, K. W.; Thomas, R. L. (2007). Antioxidative activity of chitosans with varying molecular weights. *Food Chemistry*, 101: 308-313.

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE UN CLARIFICADOR SECUNDARIO DE EFLUENTES LÁCTEOS UTILIZANDO MATLAB®

Carlos A. Córdoba - Tutor: MSc. Miguel A. Rosa
Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Villa María - Córdoba - Argentina

Resumen

El objetivo del presente trabajo es destacar la importancia del uso de una herramienta informática clásica, MATLAB®, en la resolución de un problema concreto de ingeniería tal como es la determinación de los parámetros de diseño del clarificador secundario en el proceso de lodos activados. Utilizando lodos procedentes del tratamiento de un efluente lácteo, se determinó experimentalmente la velocidad de sedimentación de una suspensión de los mismos para una dada concentración. A partir de los valores experimentales y utilizando los fundamentos teóricos clásicos para el diseño de un sedimentador, se generó en MATLAB® un programa para la determinación de dichos parámetros, empleando, entre otras herramientas, el cálculo de regresiones con redes neuronales. Su ejecución demostró la factibilidad de evaluar de manera sencilla y rápida diferentes alternativas de trabajo hasta alcanzar valores de diseño apropiados. Como conclusión general se establece la validez del uso de esta herramienta computacional para la resolución de casos concretos y en particular la versatilidad del programa para analizar distintas condiciones de operación, lo cual brinda al usuario la posibilidad de seleccionar la más ventajosa desde el punto de vista técnico económico.

Introducción

En una planta convencional para tratar aguas residuales mediante lodos activados, la sedimentación se utiliza para separar la biomasa (sólidos suspendidos) generada en el reactor durante la degradación de la materia orgánica. Para que el proceso de lodos activados resulte eficiente, se debe generar un efluente con baja concentración de sólidos suspendidos y un lodo suficientemente espeso para su retorno al reactor, el cual requiere mantener una concentración de biomasa elevada. Esta condición es lograda mediante un adecuado funcionamiento de los clarificadores, tanto primario como secundario.

Por tal razón resulta de primordial importancia, para satisfacer los requerimientos de vertido, el diseño del sedimentador secundario, el cual requiere de las especificaciones de su profundidad y del área de sección transversal, siendo ésta el mayor valor obtenido del cálculo entre el área de clarificación y el área de espesamiento (Martínez y Rodríguez, 2005). La forma más común de los sedimentadores secundarios es circular y en menor medida rectangular. Las unidades circulares o rectangulares se equipan con barreador de fondo (que permite una mejor separación de la Biomasa del agua, a la vez que impulsa el lodo sedimentado hacia la zona de extracción) y recolector superficial de espumas. El fondo de los sedimentadores circulares tiene una leve pendiente, típicamente de relación 1/12, para facilitar el deslizamiento del sedimento. Existen también sedimentadores internos ("Intrachannel Clarifier") que van ubicados dentro del reactor, de menor frecuencia de uso y que suelen corresponder a tecnologías patentadas (Nannig, 2003).

En los clarificadores secundarios la concentración de sólidos debe incrementarse de la cantidad X_0 que se tiene en el reactor a la cantidad X_r que se presenta en el flujo inferior del sedimentador. En este tránsito las velocidades de sedimentación cambian, presentándose zonas con diferentes características, fenómeno conocido como zonas de sedimentación (Valdez y Vázquez González, 2003). La evaluación de las mismas puede efectuarse mediante ensayos experimentales de sedimentación discontinua en el laboratorio y resulta una condición de diseño fundamental.

Por otra parte, se cuenta en la actualidad con diversos programas de computaciones capaces de efectuar la simulación del proceso propiamente dicha y de evaluar la confiabilidad del modelo propuesto mediante la comparación con datos experimentales.

El objetivo principal del presente trabajo es evaluar el comportamiento de varias herramientas del software MATLAB®, entre ellas, la de regresión con redes neuronales, para la determinación de los parámetros de diseño del clarificador secundario correspondiente al proceso de lodos activados en el tratamiento de los efluentes de una industria láctea.

Procedimiento y desarrollo

El diseño de un espesador continuo requiere de las especificaciones del área de sección transversal y su profundidad, y además puede ser realizado usando información de sedimentación intermitente obtenida en el laboratorio, puesto que, en un sedimentador continuo las condiciones en un punto son estables con respecto al tiempo, mientras que cada prueba de sedimentación intermitente representa las condiciones en cierto punto particular en un espesador, sólo a un tiempo dado durante la prueba (Foust et al., 1998).

Ajuste de los datos de altura de interfase-tiempo

En primer lugar se llevó a cabo una experiencia de sedimentación, para evaluar la V_i (velocidad de sedimentación por zonas), parámetro clásico para determinar las características de los lodos. El ensayo consistió en medir en función del tiempo la altura de la interfase que se genera durante la sedimentación de una suspensión de lodos de una dada concentración en una probeta estandarizada de 1000 ml. La altura de la interfase se registró a intervalos de tiempo seleccionados (Tabla 1). Es importante remover la suspensión con agitadores a una velocidad de aproximadamente 5 rph, lo cual simula la acción de los rastrillos mecánicos utilizados para la separación de los lodos y evita la estratificación de los mismos (Ramalho, 1993).

Tabla 1: Valores experimentales: altura de la interfase [m] vs. Tiempo [h]
Sólidos suspendidos totales (SST): 2230 mg/l

Tiempo	0.000	0.025	0.033	0.050	0.067	0.083	0.100	0.117	0.167	0.250	0.333	0.417	0.050
Altura	0.340	0.326	0.309	0.245	0.177	0.143	0.126	0.116	0.099	0.066	0.066	0.066	0.063

Luego y de acuerdo al objetivo principal del trabajo, se utilizó la interfaz gráfica de usuario (GUI), herramienta de red neuronal de ajuste, mediante el comando de MATLAB® "nftool". El mismo permite seleccionar los datos, crear y entrenar una red, y evaluar su actuación mediante el error cuadrado medio y análisis de la regresión. Las redes neuronales a priori son capaces de asociar patrones de entrada con cualquier patrón de salida y su eficacia depende del ajuste heurístico de numerosos parámetros. Además, las mismas aprenden mejor el ajuste a las funciones, sobre todo por sus características no lineales o de alto ruido (Quintero, 2002), aún cumpliendo criterios de muestras apropiadas para métodos estadísticos multivariados (MEMV) basados en el modelo de regresión lineal general (MRLG).

Para definir el problema de ajuste de la caja de herramientas, se organizó un conjunto de vectores de entrada IMPUT01 como columnas en una matriz y otro conjunto de vectores objetivo TARGET01 en una segunda matriz. Los datos fueron extraídos de la literatura específica (Ramalho, 1993). El comportamiento de la altura de la interfase con respecto al tiempo dependerá de la concentración de sólidos suspendidos totales de la muestra, en cada ensayo.

La matriz de entrada consta de 2 columnas, la primera corresponde a los intervalos de tiempo seleccionados y la segunda a la concentración de SST correspondiente a cada ensayo. La matriz objetivo, de una sola columna, corresponde a las alturas de la interfase para cada vector de entrada. Las variables de entrada y salida se acotaron en valores entre 0 y 1, para obtener una aproximación funcional óptima. Estas deben seguir una distribución normal o uniforme, y el rango de posibles valores debe ser aproximadamente el mismo y acotado en el intervalo de trabajo de la función de activación empleada en las capas ocultas y de salida de la red (Diazaraque, 2011).

Se tomo un 70% de las muestras para el entrenamiento de la red, la cual se ajusta de acuerdo a su error. Para su validación 15% de las muestras se utilizaron para medir la respuesta de la red, y para detener el entrenamiento antes de que se produzca un sobreajuste. El último 15% se utiliza como una prueba completamente aislada y así proporciona una medida independiente de rendimiento de la red durante y después del entrenamiento.

La red estándar que se utilizo para el ajuste de la función es una red de propagación de dos capas, con una función de transferencia sigmoideal en la capa oculta y una función de transferencia lineal en la capa de salida. El número de neuronas ocultas por defecto se estableció en 20 (Figura 1). El coeficientes de determinación (R) para el entrenamiento de la red fue 0.999709, para la validación 0.998788 y para el testeo 0.995191, resultando para la totalidad de los datos un R = 0.99904 (Figura 2). Este coeficiente es una medida de la correlación entre las salidas (outputs) y blancos (targets). Un valor de R = 1, significa una relación íntima y R = 0, una relación aleatoria.

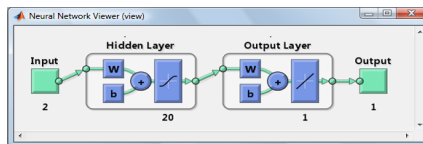


Fig. 1: Diagrama de la red neuronal

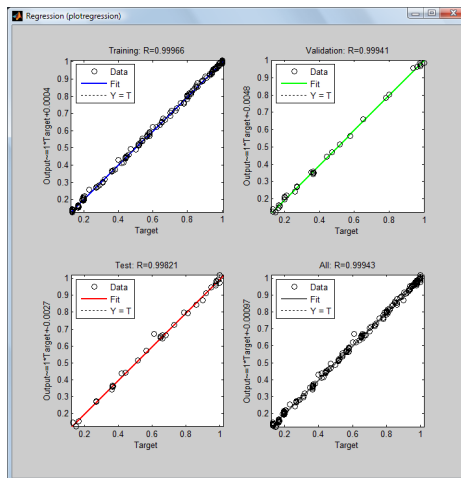


Fig. 2: Regresión lineal entre los outputs de la red y los targets

Con la red neuronal diseñada se obtuvo la regresión de datos correspondientes a la experiencia de laboratorio de sedimentación con una concentración de sólidos de 2230 mg/l (Figura 3).

Cálculo de la velocidad de sedimentación en función de la concentración

Los fundamentos teóricos considerados para el diseño fueron los utilizados en la bibliografía clásica (Foust et al., 1998), que supone que la velocidad de sedimentación es solamente función de la concentración. El diseño del espesador se basa en la identificación de la capa que tiene la menor capacidad para el paso de sólidos a través de ella en las condiciones de operación (capa limitante de velocidad), cuya concentración, c_L , resulta una función inversa de la altura de la interfase sólido-líquido, z_L , a un tiempo dado, según la expresión:

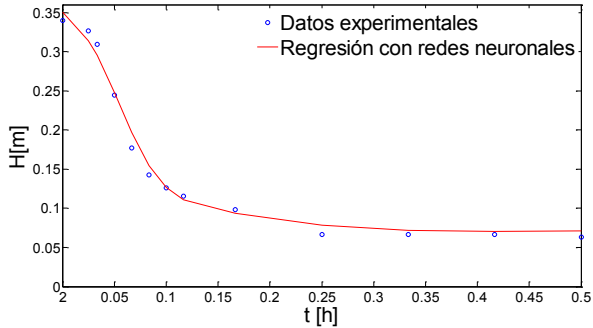


Fig. 3: Altura de interfase vs. tiempo

$$c_L = \frac{c_o z_o}{z_L + v_L \theta_L} \quad (1)$$

donde c_o y z_o representan la concentración y altura iniciales en la probeta y v_L la velocidad de sedimentación de las partículas, obtenida de la derivada de la correlación altura de interfase vs. tiempo seleccionada anteriormente y evaluada para distintos tiempos θ_L (Foust et al., 1998).

En la tabla 2 se representan los valores generados por el programa; la misma, además, se muestra en la ventana de comandos para una rápida apreciación del usuario.

El programa correlaciona los datos de velocidad de sedimentación (V_i) en función de la concentración de SST (X_i) a través del ajuste de los parámetros V_o y K_v del modelo de Vesilind (Martínez y Rodríguez, 2005) de la expresión (2), cuya gráfica se aprecia en la figura 4.

$$V_i = V_o e^{(-K_v X_i)} \quad (2)$$

Tabla 2: Valores generados por el programa

T [h]	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
Altura interfase [m]	0.248	0.127	0.097	0.087	0.078	0.074	0.071	0.070
Velocidad [m/h]	3.086	1.258	0.223	0.196	0.141	0.063	0.032	0.011
Concentración [mg/l]	1885.5	3004.5	5821.3	5990.5	6661.4	8200.6	9168.1	10154.0

Cálculo de los parámetros de diseño

Finalmente, como área de diseño (A_D) el programa selecciona la mayor entre la de clarificación y la de compactación o espesamiento. Para el cálculo del área de clarificación (A_C), se consideró que la velocidad de la corriente de agua residual que sale del vertedero debe ser menor que la velocidad de sedimentación, mientras que para el área de espesamiento (A_E) se utilizó el modelo de flux de sólidos totales F_T , definido como la masa de sólidos por unidad de tiempo, que atraviesa un área unitaria perpendicular a la dirección del flujo. El mismo se obtiene de la suma del flujo de sólidos que sedimentan por gravedad, F_L , más el de sólidos que sedimentan por la succión de la salida en el fondo del equipo con cierta velocidad, F_f .

$$F_T = F_L + F_f \quad (3)$$

El método gráfico requiere la representación del flux total de sólidos en función de la concentración (Figura 5), la cual se correlaciona con la velocidad de sedimentación mediante la

ecuación de Vesilind. De esta manera, fijada una concentración para los sólidos de la corriente de fondo del sedimentador (X_f), el programa determina el flux total de sólidos límite, F_{Tf} , mediante la ordenada al origen de la recta tangente a la curva de flux total, que parte del valor de X_f seleccionado. Este flux, que sale por succión de un sedimentador de área (A_E), debe ser igual a la carga de sólidos que entran al sedimentador y permite el cálculo del área de espesamiento a través de la expresión (4). En esta expresión Q_o y X_o son, respectivamente, el caudal y la concentración de sólidos en la alimentación al clarificador.

$$F_{Tf} = \frac{X_o Q_o}{A_E} \quad (4)$$

Para el cálculo de la profundidad se estima un tiempo de residencia límite (T_h), ya que si éste es demasiado elevado, se puede presentar generación de gases, debido a la desnitrificación o por condiciones de anaerobiosis, con lo cual los sólidos flotarían (Martínez y Rodríguez, 2005). Fijado el caudal de tratamiento se obtiene el volumen correspondiente al área de diseño, V y la profundidad del equipo (H_{sed}) a través de las expresiones (5) y (6):

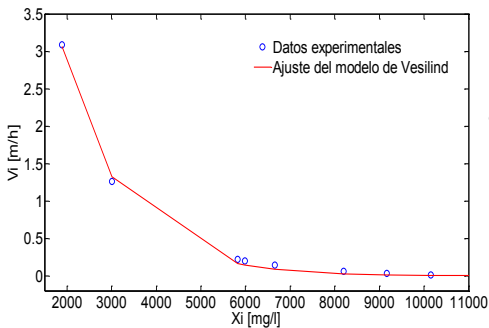


Fig. 4: Velocidad vs. concentración. Ajuste del modelo de Vesilind.

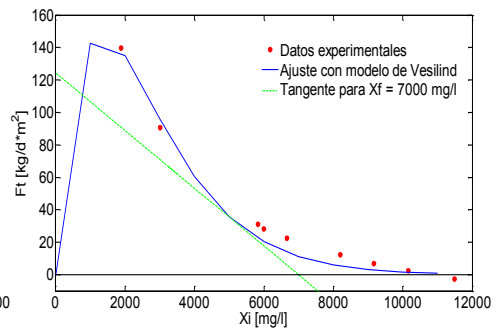


Fig.5: Flujo de sólidos totales vs. concentración

$$V = \frac{F_{Tf} A_D T_h}{X_o} \quad (5)$$

$$H_{sed} = \frac{V}{A_D} \quad (6)$$

$$H_T = H_{cap} + H_{imm} + H_{sed} + \frac{D}{2} \tan(\alpha) \quad (7)$$

El programa también computa las alturas (en m) definidas por el usuario, correspondientes a la capacidad de almacenamiento (H_{cap}), inmersión de la alimentación (H_{imm}) y la altura de diseño mecánico. Esta última se determina teniendo en cuenta el diámetro del equipo (D) y el ángulo de inclinación de fondo (α). A su vez, el diámetro D se calcula en base A_D y α es definido inicialmente por el usuario. La altura total del equipo (H_T) calculada a partir de la ecuación (7), conjuntamente con el área de diseño permite calcular el volumen total.

Resultados y discusión

A los fines de evaluar el comportamiento del programa generado se ejecutó el mismo para la siguiente condición de trabajo: caudal de entrada, Q_o : 333.333 m³/h y concentración de sólidos a

la entrada, X_o : 2230 mg/l. Los parámetros fijados fueron: concentración de sólidos a la salida del vertedero, según legislación vigente: X_e : 50 mg/l; capacidad de almacenamiento, H_{cap} : 0.35 m; Inmersión de la alimentación, H_{imm} : 0.35 m; tiempo de residencia en h (Th); concentración de sólidos en el fondo del sedimentador en mg/l (X_f) y ángulo de inclinación del fondo en rad (α). Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3: Parámetros de diseño y valores calculados por el programa para un caso particular

Parámetros fijados por el usuario			Valores calculados por el programa			
Th [h]	X_f [mg/l]	α [rad]	Diám [m]	Área [m ²]	Vol [m ³]	Altura [m]
1.5	8000	0.06	16.82	222.11	767.67	3.46
1.5	7500	0.06	15.01	176.92	703.60	3.98
1.5	7000	0.06	13.52	143.51	658.72	4.59
1.5	6500	0.06	12.22	117.25	625.10	5.33

Para el ejemplo planteado se observa que para valores superiores a los 7000 mg/l de concentración de sólidos en la descarga, el volumen del clarificador se incrementa significativamente, lo cual implica mayores costos de inversión y de mantenimiento. Por esta razón se considera como diseño adecuado, para un tiempo de residencia de 1.5 h, el correspondiente a una concentración de sólidos en el fondo de 7000 kg/h.

Conclusiones

De los resultados alcanzados se puede elaborar como conclusión general, la validez del uso de esta herramienta computacional empleada en la resolución de problemas concretos en ingeniería.

En particular para el caso planteado, el programa elaborado presenta la versatilidad suficiente para el análisis de distintas alternativas de diseño de manera rápida y sencilla, brindando al usuario la posibilidad de seleccionar aquella que resulte más ventajosa desde el punto de vista técnico económico.

Referencias

- Diazaraque J. M. M.; *Introducción a las Redes Neuronales Aplicadas*, Curso de Expertos de U.C.M., Universidad Carlos III de Madrid. (España) (2011).
- Foust A. S., L. A. Wenzel, C. W. Clump, L. Maus y L. Bryce Andersen; *Principios de Operaciones Unitarias*, 6ª Edición, CECSA, México D.F. (México) (1998).
- Martínez S. A. y M. G. Rodríguez; *Tratamiento de Aguas Residuales con MATLAB®*, Reverté, México D.F. (México) (2005).
- Nannig, B. J.; *Sedimentación Secundaria en Sistemas de Lodos Activados*, AKROS Ingeniería Ltda., Santiago de Chile (Chile) (2003).
- Quintero, R. E.; *Problemas de Regresión: Soluciones por Modelos Estadísticos y Redes Neuronales Artificiales*, Disertación Doctoral, Tecana American University. Caracas (Venezuela) (2002).
- Ramalho, R. S.; *Tratamiento de Aguas Residuales*, Reverté, Barcelona (España) (1993).
- Spiegel M. R.; *Teoría y Problemas de Probabilidad y Estadística*, McGraw-Hill, México D. F. (México) (1991).
- Valdez, E. C. y A. B. Vázquez González; *Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales*, Fundación ICA, México D.F. (México) (2003).

PARAMETRIZACIÓN DE LA CURVA DE MAGNETIZACIÓN DE UN TRANSFORMADOR

Autores: Alejandro Gudiño⁽¹⁾, Juan Francisco Russo⁽²⁾

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo GISENER.
Avenida de la Universidad 501 (2400) San Francisco. Provincia de Córdoba. ARGENTINA. Tel.
(03564) 421147/435402. <http://www.frsrcfco.utn.edu.ar/>

⁽¹⁾: aleg_electromecanica@hotmail.com; ⁽²⁾: juanf_russo@hotmail.com

Resumen

La necesidad de determinar la forma de onda de las corrientes de las cargas industriales, en este caso la corriente de magnetización de un inductor, motiva nuestra investigación. Se busca definir de forma analítica, pero partiendo de mediciones prácticas, una curva de tensión en función de corriente, o viceversa, proporcional a la curva de magnetización, evaluando ambas magnitudes en un inductor. Una aplicación concreta de tal inductor sería un transformador, elemento muy común en cualquier instalación eléctrica industrial o de distribución de energía eléctrica.

Al conectar una fuente de tensión alterna sinusoidal a un transformador en vacío, la corriente que fluye en su circuito primario es sólo la requerida para producir flujo en el núcleo ferromagnético. Con un osciloscopio, se obtendrá la forma de onda de la tensión aplicada; en cuanto a la corriente, se colocará una resistencia calibrada en serie, y de este modo, derivando una pequeña tensión, se podrá obtener también su forma de onda. Como resultado, se obtendrán dos tabla de datos de tensión y corriente en función del tiempo, que se puede graficar con ayuda del software Mathematica®. A partir de estos gráficos se espera encontrar una interrelación entre tensión y corriente que se definirá en forma gráfica en dicho software.

La información obtenida sobre la distorsión de la forma de onda de corriente de magnetización de este transformador-inductor servirá para simular su comportamiento ante variaciones de magnitud y de forma de onda de la tensión aplicada.

En el marco del impulso actual de los temas relacionados con la calidad de la energía, el interés de este estudio radica en determinar la característica de comportamiento de una carga no lineal industrial utilizando un método de ensayo relativamente sencillo y, lo que es más importante para su replicación, que se realizará a tensión y frecuencia industriales.

Palabras claves

Magnetización, histéresis, transformador, corriente de vacío.

Introducción

En el ámbito industrial y de distribución de energía, se utilizan transformadores en gran escala, con lo cual se hace importante conocer a fondo y simular su operación. Una de las dificultades que se presentan a la hora de proceder a estimar el funcionamiento de dichas máquinas o averiguar sus características, es la falta de información respecto a la forma en que se comporta su magnetización. La idea de este trabajo de investigación es, a través de consecuentes mediciones con diversos aparatos, poder confeccionar una curva aproximada a la de magnetización, con ayuda del software Mathematica®.

A continuación se da una breve introducción a los transformadores.

Transformador: Artefacto que cambia la energía eléctrica de CA de un nivel de voltaje en energía eléctrica de CA de otro nivel de voltaje, mediante la acción de un campo magnético. Consiste en dos o más bobinas de alambre arrolladas alrededor de un núcleo ferromagnético común. Por lo general, estas bobinas no están conectadas directamente, sino que solo están acopladas por medio del flujo magnético presente dentro del núcleo.

Una de las bobinas del transformador esta conectada a una fuente de fuerza eléctrica de CA, y la segunda (y quizá la tercera) bobina suministra fuerza eléctrica a las cargas. La bobina del transformador, conectada a la fuente de alimentación principal se llama bobina primaria o bobina de alimentación y la bobina conectada a las cargas se llama bobina secundaria o bobina de salida de energía.

Transformador utilizado

Datos técnicos:

- Tensión en el primario: 220 V
- Corriente en el primario: 9.1 A
- Tensión en el secundario: 110 V
- Corriente en el secundario: 18.2 A
- POTENCIA: 2 kVA
- Relación de transformación: aprox. 2



Figura 1: foto ilustrativa del transformador utilizado para el trabajo.

En la etapa inicial de este trabajo, hemos elaborado material didáctico el cual fue publicado en el sitio <http://demonstrations.wolfram.com/> con el nombre de *Magnetizing Current Waveform in an Ideal Saturable Inductor*. (Forma de onda de la corriente de magnetización en un inductor ideal saturado).

<http://demonstrations.wolfram.com/MagnetizingCurrentWaveformInAnIdealSaturableInductor/>

Desarrollo

Para llevar a cabo el proyecto, en primera instancia se ha decidido realizar una simplificación del diagrama de histéresis, tomando en cuenta valores de mediciones reales, es decir en vez de flujo magnético, su magnitud proporcional, la tensión, realizando el mismo procedimiento con la inducción magnética y la intensidad de corriente.

Una vez acordado esto, se comenzó a pensar en un circuito que fuese capaz de representar nuestro modelo. Luego de estudiar detalladamente las variables, decidimos que el siguiente circuito era el más correcto.

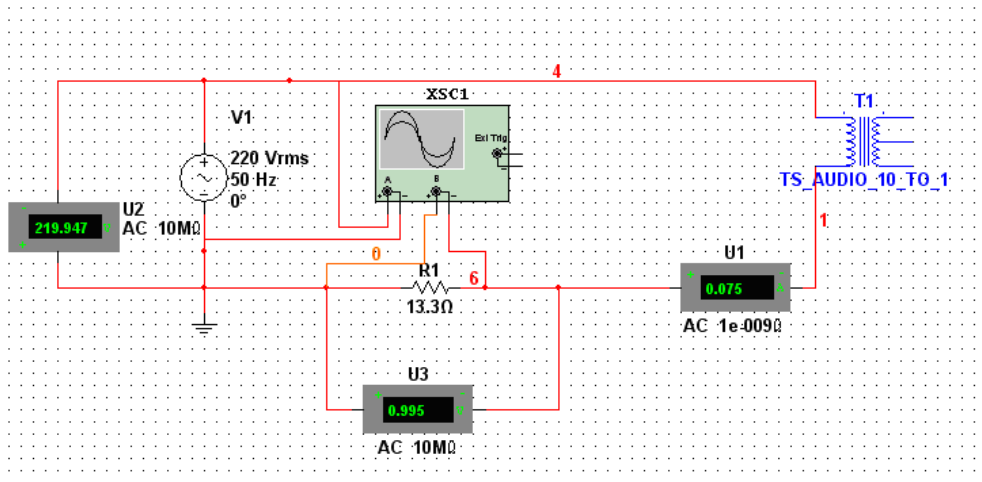


Figura 2: esquema de conexión.

Se puede apreciar que el circuito posee como elementos básicos: el transformador a medir, una fuente de tensión alterna, un osciloscopio, un amperímetro, un voltímetro y una resistencia en serie.

El razonamiento es el siguiente: al aplicar una tensión alternada en el primario del transformador se logra la magnetización del mismo, induciendo una corriente de magnetización muy pequeña. Para tomar valores en función del tiempo de dicha corriente, se opta por medir con el osciloscopio la tensión eficaz en una cierta resistencia calibrada y con una tabla exportada del mismo se calculará punto a punto la corriente.

Estas mediciones se han tomado simultáneamente a través de los dos canales que posee el osciloscopio. Realizadas las mismas, se dispone de los datos en forma de tablas de 500 valores, teniendo 100 valores por semiciclo. Una tabla posee valores de tensión de entrada al transformador, y la otra, valores de la tensión medida en la resistencia. La primera tabla queda como está, mientras que a la segunda se la divide por el valor de la resistencia calibrada R_1 y se obtiene aproximadamente punto a punto la corriente de magnetización.

Contando con estas tablas y la ayuda del software Mathematica® se realiza el gráfico de un semiciclo, de la tensión y de la corriente de magnetización, y superponiendo ambos datos a igual tiempo, se obtiene de esta forma la curva de magnetización del transformador.

Los resultados obtenidos se pueden apreciar en el siguiente gráfico extraído del Mathematica®, en el cual se ha graficado la tensión de entrada medida, la corriente de magnetización del transformador, y en función de estas dos se ha determinado el diagrama de tensión en función de corriente (que no depende del tiempo), que caracteriza bastante bien a la curva de magnetización (en el mismo se puede apreciar las pérdidas por histéresis).

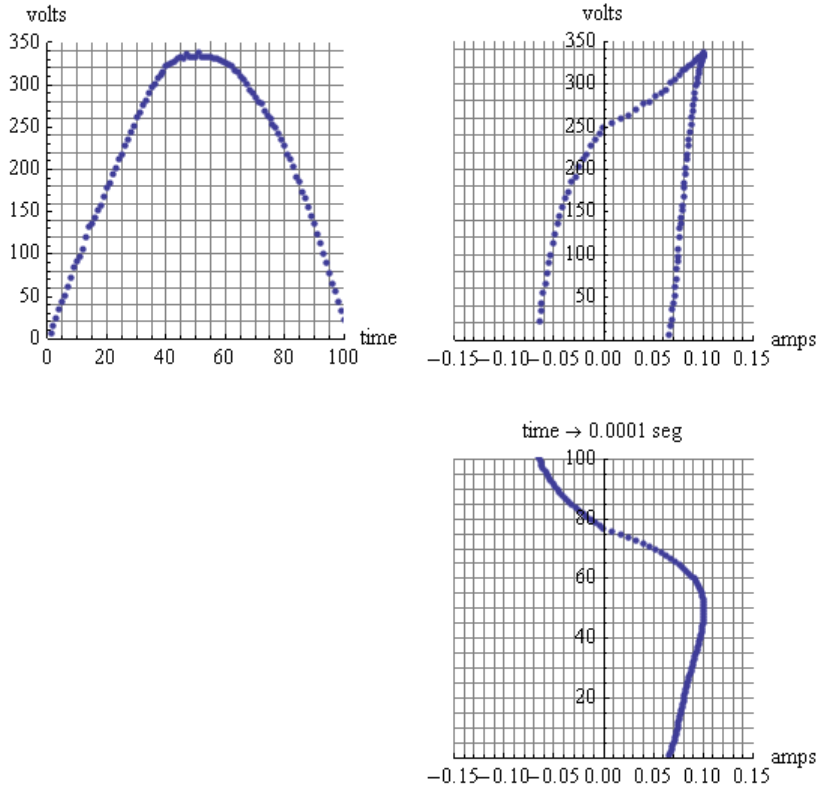


Figura 3: gráficas de: la tensión en función del tiempo; curva de magnetización; corriente de magnetización en función del tiempo.

Detalle de las mediciones

- Temperatura: todas las mediciones se realizaron dentro del rango de temperaturas especificadas por los fabricantes de los instrumentos para el cumplimiento de su clase. (20-30°C)
- Medición de resistencia: realizada con multímetro digital marca UNI-T, modelo M890G. Error de medición calculado = $\pm 3\%$ para el valor medido.
- Medición de tensión: realizada con osciloscopio digital marca Gw Instec, modelo GDS-800. Error de medición calculado = $\pm 3.2\%$ para el valor de tensión medido a la entrada de transformador.
Error de medición calculado = $\pm 3.4\%$ para el valor de tensión medido en la resistencia.
- Determinación de la corriente: Calculado como cociente tensión/resistencia según teoría de propagación de errores, y según lo establecido en la norma DIN 1319. Error calculado = $\pm 4.5\%$.

Discusión y conclusiones

Analizando el resultado de la experiencia, podemos observar varios puntos a destacar:

- El transformador no está muy saturado, porque la forma de onda de la corriente no está muy deformada; es decir que trabaja con holgura a la hora de magnetizar su núcleo;

- La corriente de magnetización es baja, es decir que necesitamos un porcentaje muy pequeño de la corriente nominal para lograr magnetizar el transformador. Teniendo en cuenta que la potencia es de 2 kVA, la corriente nominal será de 9,09 A aproximadamente, y la corriente de magnetización (75 mA) será un 0,825 % de ésta.
- En las gráficas realizadas observamos que se manifiesta el efecto de histéresis como esperábamos.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Ing. Diego M. Ferreyra, al grupo de investigación GISENER y demás personal de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco que hizo posible el desarrollo del presente trabajo.

Referencias

[1] STEPHEN J. CHAPMAN, Máquinas eléctricas, Cuarta edición, México (México), McGraw-Hill Interamericana SA, 2007

[2] ERICO SPINADELL, Transformadores, Segunda edición, Buenos Aires (Argentina), Nueva Librería, 2003.

[3] STEPHEN WOLFRAM, Mathematica: a system for doing mathematics by computer, Second edition, United States, Addison – Wesley Publishing, 1993.

[4] Apunte de la cátedra Máquinas Eléctricas.

[5] Apunte de la cátedra Electrotecnia.

APLICACIÓN DEL SOFTWARE FREEMAT 4.1.1 EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE EQUILIBRIO Y VOLUMETRÍA ACIDO-BASE

Bicego, Franco – Chalvo, Gonzalo – Ciardelli, Sofía – Morea, Pilar

Tutor: Mg. Mónica Guerrero

Cátedra: Matemática Superior Aplicada. Carrera de Ing. Química. Facultad Regional Villa María, Universidad Tecnológica Nacional. Av. Universidad 450. X5900GLB. Villa María, Córdoba, Argentina, tel. 0353-4537500.

Resumen

En este trabajo se ha aplicado el software libre Freemat 4.1.1 con el propósito de desarrollar un algoritmo de aplicación para el cálculo de procesos tales como: equilibrio ácido-base, titulación y cálculo de fracciones molares de las especies presentes. El mismo se constituirá en una herramienta válida para el análisis de distintos sistemas de equilibrio. Se analizaron diversos casos presentados en la bibliografía específica y se comparan con los resultados de su aplicación, observándose desviaciones menores al 1,5%.

Introducción

El mundo de las reacciones químicas es inconmensurable. Pese a ello el transcurso de las mismas no es caprichoso, tiene un lineamiento. El dominio de los caminos de las reacciones químicas permite el avance tecnológico y en ese dominio está involucrada la medición. El proceso de medición, con todo lo que éste implica, es la forma en que la Química Analítica participa.

La Química Analítica es una de las ramas más importantes de la Química moderna, estando relacionada con una amplia gama de otras disciplinas, tales como física, ingeniería, medicina y agricultura entre otras. Comprende la separación, identificación y determinación de la composición de un material o muestra, mediante diferentes métodos. Éstos pueden clasificarse de acuerdo a su origen, en químicos y físico-químicos.

El análisis por volumetría ácido-base es el más utilizado dentro de los métodos químicos, dado que no requiere del uso de instrumentos complejos. Su origen está basado en el equilibrio químico, estado en el que las concentraciones de los reactivos y los productos no tienen ningún cambio neto en el tiempo [1].

Desarrollo e implementación

Es de suma importancia contar con herramientas que permitan realizar cálculos rápidos y fiables, con el fin de obtener resultados para el análisis y comprensión de diversos sistemas. En este trabajo se han integrado herramientas utilizadas en las cátedras de Química Analítica y Matemática Superior Aplicada. La propuesta presentada, es el desarrollo de un algoritmo de aplicación para contribuir a una mayor comprensión de los procesos involucrados en la resolución de problemas relacionados con equilibrios ácido-base, haciendo uso para este propósito de un software específico.

Se utilizará como herramienta Freemat 4.1.1 que es un entorno de aplicación en el procesamiento de datos y modelado de procesos de ingeniería. Este es similar a sistemas de características comerciales como Matlab de Mathworks e IDL de Investigación de Sistemas, pero en código abierto. Término con el que se conoce al software distribuido y desarrollado libremente. La utilización de un software libre, presenta la ventaja de ser accesible a todas las personas que así lo deseen, constituyéndose en una herramienta de trabajo de costo nulo, siendo a la vez tan eficaz como un software propietario [2] [3].

El algoritmo desarrollado presenta un menú de selección permitiendo al usuario la elección del proceso deseado (equilibrio ácido-base, titulación o cálculo de fracciones molares). A su vez cada uno de ellos despliega diferentes opciones para optar por ácido o bases, fuertes, débiles, etc., [4]. La secuencia continúa solicitando el ingreso de datos para su posterior procesamiento y obtención de resultados y gráficos correspondientes que son visualizados en pantalla o bien en salida impresa.

Los sistemas considerados en el desarrollo del mismo incluye: ácido fuerte, ácido monoprótico débil, ácido diprótico débil, base débil, base fuerte, como así también titulación de ácido fuerte con base fuerte y de ácido débil con base fuerte. Por último se añadió el cálculo de las fracciones molares vinculadas en la titulación [5] [6].

Resultados

Para el estudio de la confiabilidad en la aplicación del algoritmo desarrollado, se analizaron diferentes modelos de la bibliografía específica, realizando cálculos manuales. Estos últimos fueron comparados con los obtenidos por el algoritmo realizado en FreeMat. En todos los casos las desviaciones resultan insignificantes.

La Tabla N° 1 muestra los resultados obtenidos en la determinación del pH de diferentes soluciones de ácidos y bases débiles.

Tabla N° 1: Determinación del pH de distintas soluciones

Tipo	Concentración	pH Analítico	pH con software	Desviación[%]
H ₂ CO ₃	1.35 x 10 ⁻⁵ M	5.610	5.608	0.035
NH ₃	NH ₃ 0.01 M	10.620	10.620	0.000

En las Tablas N° 2 y 3 se presentan cálculos de pH en procesos de titulación de ácidos fuertes y débiles, con bases fuertes. Como puede observarse las desviaciones son inferiores al 0.1 % con excepción del segundo ejemplo que tiene una desviación del orden del 1.5 %.

Tabla N° 2: Titulación de ácido fuerte con base fuerte

Tipo	Volumen	Concentración	pH Analítico	pH con software	Desviación[%]
HCl NaOH	25 ml 10 ml	0.1 M 0.1 M	1.367	1.368	0.073
HCl NaOH	50 ml 40ml	0.1 M 0.15 M	12.045	12.046	0.008

Tabla N° 3: Titulación de ácido débil con base fuerte

Tipo	Volumen	Concentración	pH analítico	pH con software	Desviación[%]
CH ₃ COOH NaOH	40 ml 10 ml	0.100 M 0.100 M	4.280	4.284	0.093
H ₂ A KOH	25 ml 15.14 ml	0.173 M 0.200 M	2.840	2.882	1.478

Tabla N° 4: Titulación de tres ácidos monoproticos débiles con una base fuerte

Ácido	Volumen	Concentración	Constante de disociación
CH ₃ COOH NaOH	25 ml Vb2	0.100 M 0.100 M	$K_A = 1.73 \times 10^{-5}$
H ₃ BO ₃ NaOH	25 ml Vb2	0.100 M 0.100 M	$K_B = 5.88 \times 10^{-10}$
HCOOH NaOH	25 ml Vb2	0.100 M 0.100 M	$K_C = 1.7 \times 10^{-4}$

La Tabla 4 muestra los ácidos y bases empleados en el proceso de titulación, sus volúmenes, concentraciones y las constantes de disociación de cada uno de ellos.

En la Fig. 1 se grafica el volumen de base utilizada en la titulación vs. pH. En la misma puede analizarse la influencia del valor de la constante de disociación y su concentración en la titulación de un ácido débil con una base fuerte. Al disminuir la fuerza de un ácido, se produce un aumento del pH inicial y una disminución del intervalo de cambio, no existiendo indicador que nos permita visualizar el punto de neutralización para el ácido bórico. Se puede decir que para obtener resultados más exactos es conveniente utilizar ácidos cuyas constantes de disociación sean significantes, es decir, el producto de la concentración analítica del ácido y la constante de disociación debe ser mayor que 10^{-8} , con lo cual se produce un cambio apreciable de pH permitiendo una fácil medición del mismo. En este ejemplo también podemos distinguir que la grafica cambia de concavidad a pH igual al pK de cada uno de los ácidos.

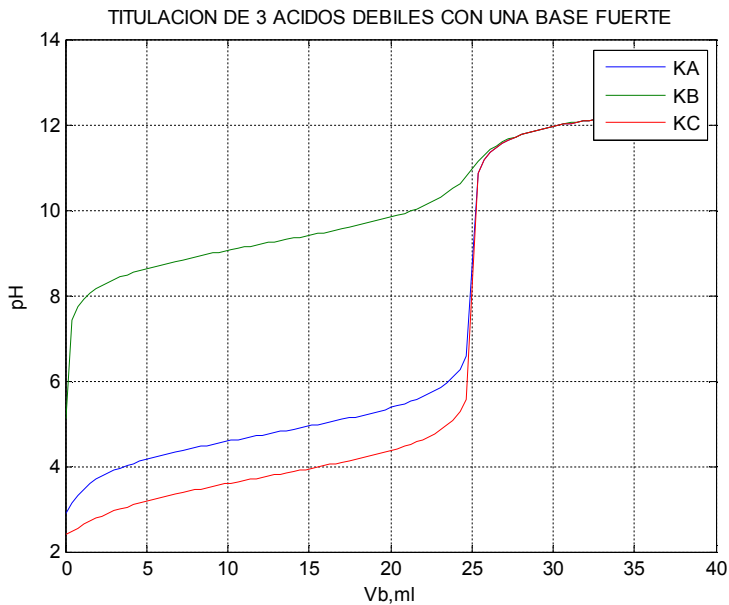


Fig. 1: Titulación de ácidos monoproticos débiles con base fuerte

La Tabla N° 5 muestra el cálculo de las fracciones molares en forma analítica y por aplicación de FreeMat, observándose desviaciones menores al 1%.

Tabla N° 5: Cálculo de las fracciones molares de las especies vinculadas

Tipo de Ácido	Cálculo Analítico	Cálculo con software	Desviación[%]
Ácido acético [HAc] en pH 7	[HAc] = 5.710×10^{-3} [Ac] = 9.940×10^{-1}	[HAc] = 5.700×10^{-3} [Ac] = 9.943×10^{-1}	0.175 0.031
Ácido oxálico [H ₂ Ox] en pH 7	[H ₂ Ox] = 3.380×10^{-9} [HOx ⁻] = 1.900×10^{-3} [Ox ²⁻] = 9.980×10^{-1}	[H ₂ Ox] = 3.383×10^{-9} [HOx ⁻] = 1.900×10^{-3} [Ox ²⁻] = 9.981×10^{-1}	0.089 0.000 0.010

Conclusión

A partir de los resultados observados se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- i) la desviación entre los valores calculados analíticamente y mediante la aplicación del algoritmo propuesto en este trabajo, presentan desviaciones menores al 1.5%,
- ii) dada la simplicidad del algoritmo, asociado con una sólida base de conocimientos teórico-práctico, lo convierten en una herramienta de aplicación para la resolución de problemas en cátedras específicas, tales como, química analítica, química analítica aplicada, entre otras,
- iii) los resultados se consideran válidos para el cálculo de pH a lo largo de toda la curva de titulación; para ácidos y bases débiles y fuertes,
- iv) el presente trabajo constituye una base sólida sobre la cual pueden proyectarse ampliaciones en cuanto a los temas que incluye y optimizarse los ya desarrollados.

Referencias

- [1] Gilbert H. Ayres, *Análisis químico cuantitativo*, 3° Edición (1970).
- [2] *Fundamentación del uso de software libre en la universidad pública. Enseñando Matemática con herramientas alternativas* – Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales (2007).
- [3] FSF Free Software Foundation; <http://www.fsf.org>
- [4] Ruben Dario Osorio Giraldo; *Métodos numéricos en química con matlab*, 1° Edición (2007).
- [5] I.M.kolthoff, E.B.Sandell, E.J.Meehan, Stanley Bruckenstein. *Análisis químico cuantitativo*, 5° Edición (1972).
- [6] Leicester F.Hamilton,S.B, Stephen G.Simpson,Ph.D., David W.Ellis Ph.D. *Cálculos de química analítica*, 7° Edición (1992).

DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA INMOVILIZACIÓN SOBRE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DE α -AMILASA

Sabariz Alves, Lucia Belén – Vazquez Montalbetti, María Emilia – Chevarría, Gastón Alejandro
Estudiantes de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa
María. E-mail: luciasabariz@hotmail.com – emi_v11@hotmail.com – gaston_che27@hotmail.com

TUTORAS: Dra. Montenegro, Mariana Angélica – Ing. Vanden Braber, Noelia

Resumen

Con objeto de estudiar el comportamiento cinético de la enzima α -amilasa libre e inmovilizada se realizó la hidrólisis de una solución de almidón y se midió la velocidad de reacción siguiendo la variación de concentración de almidón, por reacción con yodo en solución de yoduro de potasio. La inmovilización se realizó en perlas de quitosano. Los parámetros cinéticos resultaron los siguientes: K_M de 1,712 g/L y $V_{MÁX}$ de 0,00851 g/L.s para la enzima libre mientras que para la enzima inmovilizada, K_M de 12,34 g/L y $V_{MÁX}$ de 0,00087 g/L.s. Los valores de actividad enzimática obtenidos para la enzima libre e inmovilizada fueron de 1,8661 y 0,0547 g alm/g enz-min, respectivamente. Debido a la simplicidad del método y buenos rendimientos obtenidos, el quitosano resulta una matriz potencial para la inmovilización de α -amilasa a escala industrial.

Palabras clave: α – amilasa, Inmovilización, Quitosano, Actividad enzimática.

1. Introducción

El almidón es la forma principal de reservas de carbohidratos en los vegetales. Consiste de una mezcla de dos polisacáridos: amilosa y amilopectina, ambos polímeros de α -D-Glucosa. Las moléculas de amilosa consisten típicamente de 200 a 20000 unidades de glucosa unidas por enlaces α – 1,4 que se despliegan en forma de hélice en una estructura lineal. La amilopectina se distingue de la amilosa por ser muy ramificada. Cadenas laterales cortas conteniendo aproximadamente 30 unidades de glucosa se unen con enlaces α – 1,6 cada veinte o treinta unidades de glucosa a lo largo de las cadenas principales¹.

El almidón puede desdoblarse en una variedad de monosacáridos mediante la hidrólisis enzimática por acción de un grupo de enzimas denominadas *amilasas*. Existen dos tipos principales de amilasas: α y β , que se diferencian por el modo de ataque sobre el sustrato. La α - *amilasa* corresponde a una *endoenzima*, ya que actúa sobre los enlaces α (1-4) glucosídicos, formando oligosacáridos, pero no puede desdoblar las uniones α (1-6) de la amilopectina. La β - *amilasa* es una "*exoenzima*" que tampoco puede desdoblar los enlaces α (1-6) de la amilopectina. Por esta razón las moléculas de amilopectina solo pueden ser hidrolizadas parcialmente por esta enzima quedando restos de un peso molecular bastante elevado².

Las enzimas pueden usarse libres en solución, o pueden ser inmovilizadas en un soporte insoluble por diferentes métodos como: atrapamiento, adsorción en superficie, unión por enlaces iónicos o covalentes. Las principales ventajas del uso de enzimas inmovilizadas sobre las enzimas libres son, una mayor facilidad de separación de reactantes, mínima pérdida de la enzima con los productos permitiendo su reutilización en varios ciclos de reacción y la posibilidad de controlar mejor los tiempos de reacción³.

Uno de los soportes utilizados para inmovilización de enzimas es el quitosano, un polisacárido compuesto de unidades glucosamina unidas por enlaces α -1,4 que se obtiene por desacetilación de la quitina con un tratamiento drástico alcalino. Es ideal para tal fin debido a sus características como hidrofilia, biocompatibilidad, biodegradabilidad y propiedades antibacterianas. La inmovilización de enzimas en el quitosano se puede lograr por medio de la reacción de glutaraldehído entre los grupos amino libres de quitosano y la molécula de enzima para formar enlaces covalentes⁴.

Para estudiar la cinética de las reacciones enzimáticas se emplea el modelo de Michaelis – Menten (Ec. 1).

$$V = \frac{V_{max} \cdot [S]}{K_m + [S]} \quad (1)$$

donde V es la velocidad inicial (g almidón degradado / L.s), V_{MAX} es la velocidad máxima alcanzable con la concentración dada de enzima, [S] es la concentración de almidón inicial (g/L), y K_M es la de constante Michaelis – Menten que describe la afinidad de la enzimas por el sustrato⁵.

Para una mejor interpretación de los datos experimentales, es costumbre utilizar la ecuación de Lineweaver-Burk (Ec. 2), que corresponde a la gráfica doble recíproca de la ecuación de Michaelis – Menten⁵.

$$\frac{1}{[V]} = \frac{1}{V_{max}} - \frac{K_m}{V_{max}} \cdot \frac{1}{[S]} \quad (2)$$

La actividad enzimática se define como la cantidad de sustrato degradado por unidad de masa de enzima y por unidad de tiempo (Ec. 3).

$$UA = \frac{[S]_0 - [S]}{E_0 \cdot (t - t_0)} \quad (3)$$

donde $[S]_0$ es la concentración inicial de sustrato (g/L), [S] la concentración de sustrato en el tiempo t, E_0 la concentración de enzima (g/L) y (t - t_0) el tiempo de reacción (s)⁶.

2. Materiales y Métodos

2.1 Reactivos y equipamiento.

Para las determinaciones se utilizaron los siguientes reactivos: Enzima α -amilasa Spezyme Alpha Enzyme de Genencor. Almidón, Yodo, Ácido clorhídrico, Hidróxido de potasio y Sal sódica de EDTA de Anedra. Yoduro de Potasio, Acetato de Sodio, Cloruro de Sodio y Sulfato cúprico pentahidrato de Cicarelli. Quitosano peso molecular medio de Fluka. Albúmina de suero bovina de Sigma. Glutaraldehído al 50% de Hubei Xinjing New Material Co LTD China

Se usó el siguiente equipamiento: pHmetro Hanna, Baño Termostático HH-S, Balanza Analítica OHAUS, Cronómetro, Agitador magnético, Espectrofotómetro UV-Vis Metrolab 1700.

2.2 Preparación de perlas en Quitosano.

Se preparó una solución de quitosano al 1,5% en ácido acético al 1,5%, calentando a 60 °C con agitación continua hasta lograr la disolución completa del quitosano. Esta solución se toma con una jeringa y se dejan caer las gotas en hidróxido de potasio 1 M para obtener perlas rígidas de tamaño uniforme.

2.3 Inmovilización de α -amilasa sobre perlas de quitosano.

Para la activación de las perlas de quitosano se dejaron reposar las mismas en glutaraldehído al 5% durante 24 hs. A continuación las perlas se lavaron con el buffer acetato repetidas veces para eliminar los restos de glutaraldehído. Las perlas fueron sumergidas en una solución de enzima comercial de dilución 1:30 y se almacenaron a 4 °C durante un lapso de 24 hs. Las perlas finalmente se almacenaron en buffer acetato de sodio 50 mM pH 5,6 a 4 °C.

2.4 Determinación del % de inmovilización.

Para determinar la cantidad de enzima inmovilizada se utilizó el método de Biuret que se basa en la formación de un complejo coloreado entre Cu^{+2} y los grupos NH de los enlaces peptídicos en medio básico⁷. La intensidad de coloración es directamente proporcional a la cantidad de proteínas (enlaces peptídicos) y la reacción es bastante específica, de manera que pocas sustancias interfieren. Para la preparación de 500 mL de Reactivo de Biuret se utilizaron 3,35 g de disódica de EDTA, 1,9 g de sulfato cúprico pentahidrato, y 100 mL solución de Hidróxido

de Sodio 5 M. Para determinar la absorbitividad (ϵ) se utilizaron soluciones de albúmina de concentraciones conocidas como patrón de referencia. La absorbancia se midió a la longitud de onda correspondiente al máximo de absorción del complejo ($\lambda_{\text{max}} = 545 \text{ nm}$).

2.5 Determinación de la cinética enzimática

Se realizaron una serie de experimentos de hidrólisis variando la concentración inicial de almidón entre 1 y 0.5 g/L a concentración de enzima, pH y temperatura constantes. Se determinó el almidón presente en la muestra utilizando una solución de trioduro (iodo-ioduro). Ambos reaccionan produciendo un color púrpura profundo. Al hidrolizarse el almidón en monómeros de carbohidrato, el color del complejo desaparece.

Se prepararon 10 mL de disoluciones de almidón de concentración deseada a partir de la disolución madre al 0,5% (5 g/L) completando el volumen con buffer acetato 50mM, pH 5,6. La reacción de hidrólisis comienza con el agregado de la enzima (20 μL de dilución 1:10) a tiempo cero. Mientras se incubaba la mezcla de reacción a 37 °C, de la misma se tomaron 500 μL en tiempos establecidos y se transfirieron a un tubo de ensayo que contenía 1mL de HCl 0.5 N para frenar la reacción. Luego se llevó a agua en ebullición durante 2 min y en seguida se enfrió en baño de hielo. Se añadieron 3,4 mL de agua destilada y 100 μL de solución de I_3 al 2% para la formación del complejo coloreado iodo-almidón (no hidrolizado). Transcurridos 10 min, se leyó la absorbancia a la longitud de onda correspondiente al máximo de absorción del complejo ($\lambda_{\text{max}} = 530 \text{ nm}$).

Para los ensayos con enzima inmovilizada se realizó una segunda serie de experimentos, con la diferencia de que esta vez se colocó una perla de quitosano con α -amilasa inmovilizada, en lugar de los 20 μL , para 10 mL de solución inicial, de manera tal de tener una concentración equivalente de enzima que la empleada en los ensayos realizados con enzima libre. Esta cantidad fue determinada a partir de los valores de concentración de enzima inmovilizada por perla.

2.6 Curva de calibración para el almidón.

Se determinó el espectro de absorción del complejo iodo-almidón mediante un barrido espectral para determinar el pico de absorbancia y utilizar este valor para las mediciones posteriores. Con el objeto de convertir los valores de absorbancias a concentraciones de almidón se realizó la curva de calibración. Para la misma se formó el complejo almidón-iodo con soluciones de concentraciones perfectamente conocidas de almidón y se midieron las absorbancias de estas soluciones después de 10 min de la adición de iodo. En todas las soluciones de agregó igual cantidad de iodo (200 μL), la cantidad necesaria de almidón al 0,5 % para lograr la concentración final deseada y se completó con buffer acetato hasta un volumen final de 10 mL.

3. Resultados y Discusión

3.1 Inmovilización de α -amilasa en perlas de quitosano

Las perlas de quitosano resultaron blandas, blancas, traslúcidas, de forma esférica y con un diámetro medio de 3 - 4 mm. Luego de la activación en glutaraldehído se volvieron rígidas y opacas. Finalmente al ser sumergidas en la solución de enzima tomaron la coloración de solución de enzima comercial. Las perlas pueden verse en la Figura 1.

Tabla 1. Determinación de la cantidad de enzima inmovilizada.

Dilución inicial de enzima (1:30)	$E_o = 13,00 \text{ mg/mL}$
Sobrenadante	$E_s = 9,75 \text{ mg/ml}$
Volumen de solución de enzima (1:30)	$V = 10 \text{ mL}$
Nº de perlas de quitosano	56
% Inmovilización	25 %
Enzima inmovilizada	$E_p = 0,580 \text{ mg/perla}$

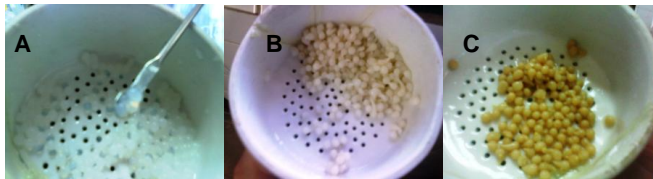


Figura 1. Fotografía de perlas de Quitosano. **A)** Antes de la activación **B)** Luego de la activación con glutaraldehído 5%. **C)** Luego de la sumersión en la dilución 1:30 de enzima α -amilasa.

Utilizando las soluciones patrones de albúmina (albúmina disuelta en buffer fosfato pH 7,0) se obtuvo la absorbitividad (ϵ) para el Método de Biuret que resultó ser 0,04 mg/mL.cm. Con este valor se determinaron las siguientes concentraciones de enzima, para la dilución 1:30 de enzima comercial (E_0), para el sobrenadante de las perlas (E_S). La cantidad de enzima inmovilizada en cada perla (E_p) se estima como la diferencia entre la cantidad de enzima inicial y la enzima que queda en el sobrenadante, dividido por el número de perlas, de acuerdo con la Ec. 4. El porcentaje de inmovilización se obtiene según la Ec. 5. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 1.

$$Ep(\text{mg enzima/perla}) = \frac{(E_0 - E_S) \cdot V(\text{ml})}{n^{\circ} \text{ perlas}} \quad (4)$$

$$\% \text{ inmovilización} = \frac{E_0 - E_S}{E_S} \cdot 100 \quad (5)$$

La concentración de la dilución 1:10 de enzima comercial también se determinó por el método de Biuret y resultó ser de 35,75 mg/mL. Con este dato es posible calcular la concentración final de la misma en la serie de experimentos realizados con la enzima libre. Si se añaden 20 μ L de dicha dilución en 10 mL de solución, la concentración de enzima en el medio reaccionante es de 0,0715 mg/mL.

De aquí se deduce que basta con utilizar una sola perla para 10 mL de solución reaccionante (correspondiente a una cantidad de enzima de 0,0580 mg/mL), de modo que la cantidad de enzima añadida sea equivalente a la cantidad de enzima libre empleada en la primera serie de experimentos.

3.2 Espectro del complejo iodo – almidón y curva de calibración.

En la Figura 2A se muestra el espectro del complejo iodo-almidón y puede observarse claramente que el pico máximo de absorbancia corresponde a 530 nm. Se conoce que el valor varía según el grado de polimerización del almidón⁸. La Figura 2B muestra la curva de calibración de almidón. La absorbitividad del almidón resultó 7.53 g/L.cm y éste fue el valor utilizado para los ensayos posteriores.

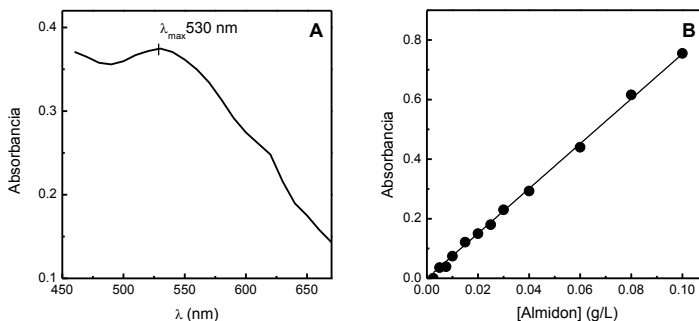


Figura 2. **A)** Espectro de Absorción Complejo Iodo – Almidón en Buffer Acetato 50 mM, pH 5.6. **B)** Curva de calibración para el almidón.

3.3 Estudio cinético.

Para determinar los parámetros cinéticos de Michaelis – Menten, se aplicó el método de las velocidades iniciales. Con los valores de absorbancia en función del tiempo obtenidos en los ensayos cinéticos (Figuras 3A y 3B) se hizo el ajuste para obtener la velocidad inicial (V_0) para cada una de las concentraciones iniciales de almidón. Se tomaron tres o cuatro de los primeros puntos de la curva, verificando un valor de R^2 que indique el mejor ajuste lineal. En las Figuras 4A y 4B se muestran los gráficos correspondientes.

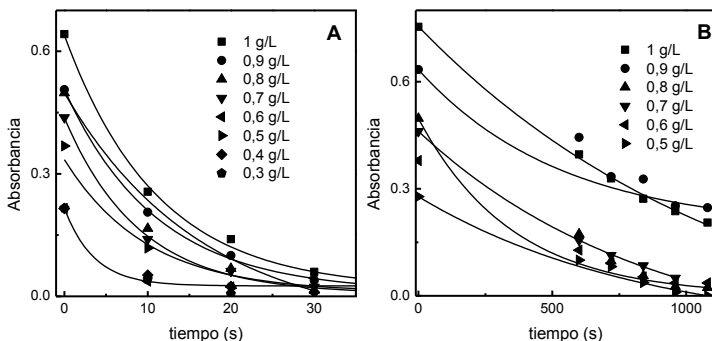


Figura 3. Absorbancia vs tiempo para los ensayos de cinética enzimática, cada curva corresponde a diferentes concentraciones iniciales de almidón. **A)** Enzima libre, **B)** Enzima inmovilizada.

Luego se convirtieron los valores de absorbancia en concentración, usando el valor de ϵ obtenido previamente, para obtener las velocidades iniciales. Los valores de velocidad inicial de reacción (V_0) se usan para construir la curva de Lineweaver-Burk, que permiten determinar fácilmente los valores de K_M y $V_{M\text{AX}}$ a partir de la ordenada al origen y la pendiente de la recta. Los parámetros cinéticos calculados se muestran en la Tabla 2.

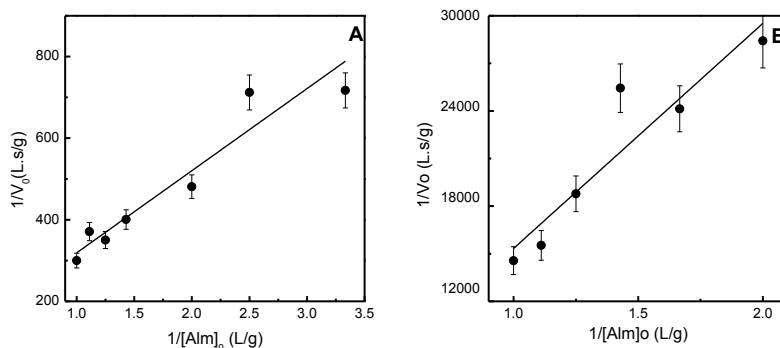


Figura 4. Determinación de K_M por el método gráfico de Lineweaver-Burk. **A)** Enzima libre, **B)** Enzima inmovilizada.

Los ensayos y el análisis de los resultados se realizan, por separado para la enzima libre e inmovilizada en quitosano. Para la enzima libre las muestras de mezcla reaccionante se toman cada intervalos de 10 s a partir del momento en que se inyecta la enzima; mientras que para la enzima inmovilizada las muestras se toman en intervalos de 2 min luego de 10 min iniciales de

incubación, que permiten la difusión del sustrato en la capa de difusión que rodea a cada perla de quitosano.

Tabla 2. Parámetros cinéticos de Michaelis – Menten.

Ecuación de Lineweaver-Burk	Enzima Libre	Enzima Inmovilizada
$V_{M\acute{A}X} = 1/\text{ordenada}$	0,00851 g/L.s	0,00087 g/L.s
$K_M = \text{pendiente} \cdot V_{M\acute{A}X}$	1,712 g/L	12,34 g/L

Para determinar la actividad enzimática (UA) de acuerdo con la Ec. 3, se tomó el promedio general de los ensayos. Para la enzima libre resultó 1,8661 g alm/ g enz·min, mientras que para la enzima inmovilizada fue de 0,0547 g alm/ g enz·min.

4. Conclusiones

Se logró la inmovilización de α -amilasa en perlas de quitosano, con un rendimiento del 25 %. Los parámetros cinéticos de Michaelis – Menten (K_M) y la actividad enzimática (UA) responden a lo esperado, una reducción de la UA y un incremento de K_M para la enzima inmovilizada frente a la enzima libre. Cabe destacar que para el caso de la enzima inmovilizada lo que en realidad se calcula es la constante de afinidad aparente (K'_M) la cual depende del espesor de la capa de difusión del sustrato en el soporte δ y de la difusividad del sustrato en el soporte. A su vez δ depende del tipo de reactor ya sea lecho empaquetado o tanque agitado. Debido a la simplicidad del método de inmovilización y los buenos rendimientos obtenidos el quitosano resulta una matriz potencial para la inmovilización de α -amilasa a escala industrial.

5. Referencias

1. C. G. Oates. (1997). Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. *Trends Food Sci Tech.* 8, 375-382.
2. B. Svensson, (1994). Protein engineering in the α -amylase family: catalytic mechanism, substrate specificity, and stability. *Plant Mol. Biol.* 25, 141-157.
3. P. Tripathi, A. Kumari, P. Rath, A. M. Kayastha. (2007). Immobilization of α -amylase from mung beans (*Vigna radiata*) on Amberlite MB 150 and chitosan beads: A comparative study. *J. Mol. Catal. B: Enzym.* 49, 69-74.
4. J. Braun, P. Le Chaun, F. Le Goffic. (1989).The immobilization of *Penicillin G Acylase* on Chitosan. *Biotechnol Bioeng.* 33, 242 – 246.
5. H. Bergmeyer. (1987). *Methods of Enzymatic Analysis.* VCH Weinheim, Germany.
6. J.F Martínez Gallegos. (2005). Tesis Doctoral. Utilización de Alfa-Amilasas en Formulación de Detergentes Industriales. Universidad de Granada.
7. G. Gornall, Bardawill, C., David, M. (1949). Determination of Serum Proteins by means of the Biuret Reaction. *J. Biol. Chem.* 177, 751-766.
8. M. John, J. Schmidt, H. Kneifel. (1983). Iodine- maltossacharide complexes: relation between chain-length and color. *Carbohydr. Res.* 119, 254 - 257.

OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LA FERMENTACIÓN DE SORGO

Andrés L. Barletta¹; Yanina I. Sánchez¹; Lucía A. Valazza¹

Tutores: Ing. Romina A. Beltrán²; Tca. Nadia Z. Comba²

¹Departamento de Química. Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Villa María, Av. Universidad 450. Villa María. Córdoba. Argentina

²Grupo de Investigación en Simulación para Ingeniería Química-GISIQ-F. R. Villa María de la UTN Av. Universidad 450, X5900HLR, Villa María, Córdoba, Argentina.

E-mail:andi_barlet@hotmail.com

Resumen

El bioetanol se obtiene a partir de la fermentación de los azúcares contenidos en la materia orgánica de las plantas tales como cereales, caña de azúcar, remolacha, entre otras. En la actualidad las principales fuentes de obtención son la caña de azúcar y el maíz.

En este trabajo se analizó como alternativa la producción de alcohol a partir de dos variedades de sorgo, en los cuales se presentó que el colorado posee mayor cantidad de almidón que el blanco, analizando cuantitativamente el rendimiento en bioetanol mediante un control indirecto tal como la evolución del descenso de peso de las muestras, por eliminación de dióxido de carbono.

Finalmente se concluyó que la utilización de sorgo como alternativa para producción de bioetanol es viable. La diferencia se observó en un mayor rendimiento en el sorgo blanco que en el colorado, atribuyendo este efecto a un agente que frenó la fermentación, posiblemente los taninos.

Palabras claves: Sorgo blanco, Sorgo Colorado, Bioetanol, Fermentación.

1. Introducción

En los últimos años el consumo de bioetanol ha ido aumentando debido, principalmente, a la inclusión en los combustibles, además de los usos cotidianos como ser las industrias farmacopea y alimenticia. Tomando relevada importancia debido a la ventaja que presenta éste al combinarse con combustibles convencionales provenientes de restos fósiles, ya que estos forman parte de un recurso no renovable. Además, presenta ventajas entre las que se destacan una mejora en la biodegradabilidad de la gasolina, reducción de emisiones tóxicas a la atmósfera, incremento del índice de octano y aumento en el calor de vaporización y combustión.

El bioetanol es un alcohol elaborado de fuentes renovables que se obtiene a partir de la fermentación de azúcares reducidos de algunas plantas, tales como caña de azúcar, soja, sorgo, maíz, remolacha, entre otros.

En la actualidad la materia prima más utilizada es el maíz, analizándose como alternativa en el presente trabajo la producción de etanol a partir de granos de sorgo, el cual es rico en almidón y es uno de los cultivos óptimos para aplicaciones industriales que ha sido subutilizado en la elaboración de productos industriales y de valor agregado (Fernández & Garro, 2004).

Para ello se midió la producción de etanol mediante el descenso de peso de la muestra, causada por la liberación de dióxido de carbono como producto de la fermentación.

1.1. Hidrólisis del almidón

El almidón presente en el sorgo no se encuentra biodisponible para las levaduras, por lo que debe recibir un tratamiento previo a la fermentación, mediante la acción de enzimas específicas. El almidón está formado por la fracción amilosa de cadena recta de moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos alfa-1,4 y la fracción amilopectina, que además de la cadena recta, presenta ramificaciones con enlaces glucosídicos 1,6.

Las enzimas son utilizadas como catalizadores biológicos para lograr la reacción deseada, en este caso la reducción de los azúcares. Dicho proceso se lleva a cabo por la actividad de diferentes tipos de las mismas, en dos etapas sucesivas. La primera llamada licuefacción, para la cual se utiliza alfa-amilasa, a fin de hidrolizar el almidón a dextrinas. La misma cataliza la hidrólisis de la cadena lineal (amilosa) y la ramificada (amilopectina) del almidón, rompiendo enlaces α 1,4 interiores (endoamilasa) para formar una mezcla de dextrinas; por ello se la conoce como dextrinogénica (mezcla de amilodextrina, eritrodextrina, acrodextrina y maltodextrina) con poca producción de maltosa. Requiere un pH óptimo de acción que se encuentre dentro del rango 5-7 y una temperatura de 68-70 °C (Biblioteca Digital de la Universidad de Chile, 2012). Por su acción, la alfa-amilasa provee de fragmentos menores que pueden ser utilizados por otra enzima, en este caso la glucoamilasa.

La segunda etapa consiste en la sacarificación, con glucoamilasa, transformando las dextrinas obtenidas anteriormente en azúcares fermentables. Ésta es una enzima hidrolítica del grupo de las amilasas, también conocida como amiloglicosidasa; su nombre sistemático es 1,4-alfa-D-glucano glucohidrolasa. Su función es actuar en la reacción de hidrólisis en cadenas de polisacáridos rompiendo los enlaces 1,4-alfa-D-glucosa que se encuentran allí de manera residual después de haber sido hidrolizadas por alfa y beta amilasas. El principal producto final de la acción de la glucoamilasa sobre el almidón es glucosa, lo cual la diferencia de la alfa y beta amilasas. Su actividad es máxima entre pH 4 - 5,5 y temperatura alrededor de 55°C - 65°C.

Como resultado de la actividad enzimática se obtienen los azúcares fermentables.

1.2. Fermentación

La fermentación alcohólica es una bio-reacción en plena ausencia de aire, que permite convertir azúcares en alcohol (C_2H_6O) y dióxido de carbono (CO_2). Las principales responsables de esta transformación son las levaduras.

Las levaduras se han definido como hongos microscópicos, unicelulares, la mayoría se multiplican por gemación y algunas por escisión. Este grupo de microorganismos comprende alrededor de 60 géneros y unas 500 especies. La usada con más frecuencia es la *Saccharomyces cerevisiae*. Por supuesto que existen estudios para producir alcohol con otros hongos y bacterias, como la *Zymomonasmobilis*, pero la explotación a nivel industrial es mínima (Vázquez & Dacosta, 2007). El proceso por el cual se lleva a cabo la fermentación consiste en la degradación de glucosa a ácido pirúvico a través de la glucólisis, donde la presencia o no de oxígeno determinará la formación de ácido láctico o etanol respectivamente (Hernández Gil, 2002). A continuación se muestra la reacción global [1] (Vázquez & Dacosta, 2007)



Industrialmente se emplean levaduras de alto rendimiento, que a diferencia de las convencionales proporcionan una mayor producción de alcohol. Por este motivo se utilizó en el presente trabajo la levadura industrial Ethanol Red®.

2. Materiales y métodos

2.1. Reactivos y equipamiento

Para la realización de los ensayos se utilizaron granos de sorgo blanco y colorado provenientes de Marcos Juárez y La Playosa, respectivamente, levadura activa seca Ethanol Red®, enzimas alfa-amilasa Spezyme® Alpha y gluco-amilasa Distillase®SSF, ácido sulfúrico Pro-análisis Cicarelli, agua de red de clorinada, erlenmeyer de 500 ml, tapones de goma con airlocks, balanzas Scout Pro. Ohaus® y Scale Systems. Ecompower, agitador Crismet Modelo: DALV-50, agitador orbital TS 2000A, estufa Reciterm®, molino Arcano, embudo de Buchner, bomba de vacío Arcano,

refractómetro óptico Arcano Modelo: REF 107 y digital Modelo ARB0-95, micropipetas Boeco de 1-10 ml, de 10-100µl y de 100-1000µl, cintas indicadoras de pH Merck, recipiente presurizado.

2.2. Preparación del mosto

Se mezclaron 500 g de sorgo molido con 1400 ml de agua de red de clorinada en un vaso precipitado, luego se agregó 0,033 ml de enzima alfa-amilasa, se agitó 5 minutos y se sometió a cocción en un recipiente levemente presurizado durante 30 minutos, después de lo cual se flasheó durante 2 minutos para luego ser enfriado a 60°C, aproximadamente. A continuación se añadieron los 0,067 ml de enzima alfa-amilasa y se agitó durante 30 minutos. Luego se acidificó a un pH entre 4 y 5, se introdujo 0,31 ml de gluco-amilasa, se agitó durante 5 minutos y por último se agregó 1 g de levadura Ethanol Red, previamente hidratadas en 10 ml de agua. Se pesó cada uno de los erlenmeyers vacíos con su respectivo airlock, el cual contiene un sello de aceite y permite cerrar el recipiente, dejando salida al CO₂ generado en el proceso fermentativo. Se dividió el mosto de manera que cada uno contenga partes aproximadamente iguales del mismo y se registró el peso total. Se incubó durante 96 horas en estufa a una temperatura de 32°C con agitación y cada 24 horas se pesó.

2.3. Medición de grados Brix

Los Grados Brix miden la cantidad de sólidos solubles presentes en el mosto, expresados en porcentajes de sacarosa. Los sólidos solubles están compuestos por los azúcares ácidos, sales y demás compuestos solubles en agua (Procesamiento y Conservación de Frutas; Universidad Nacional de Colombia, 2005) y fueron determinados utilizando un refractómetro digital y óptico, calibrado.

Luego de la adición de la enzima glucoamilasa y al finalizar el proceso fermentativo, a las 96 h, se realizó la medición de Grados Brix mediante el uso de refractómetro (digital y óptico). Debido a las características de la muestra, debió realizarse filtración al vacío hasta obtener un líquido sin sólidos insolubles, lo cual se determina igualmente por refractometría.

3. Resultados y discusión

Para determinar los azúcares fermentables disponibles en el mosto tanto al inicio de la fermentación como al final se realizó la medición de Grados Brix. En la Tabla 1 se muestran los resultados de estas mediciones. Dichos valores fueron tomados del refractómetro digital ya que posee una mayor exactitud.

La disminución de los Grados Brix se debió a que las levaduras utilizan los azúcares fermentables para llevar a cabo la fermentación alcohólica.

El sorgo colorado con respecto al blanco posee una mayor disponibilidad de azúcares fermentables, esto se nota claramente en los valores iniciales de Grados Brix de los dos tipos de sorgo.

Tabla 1: Medición de Grados Brix al inicio y final de la fermentación.

Tipo de sorgo	Grados Brix Inicial	Grados Brix Final
Sorgo Colorado	20	7,6
Sorgo Blanco	16	5,4

En la figura 1 se grafica el porcentaje de descenso de peso durante la fermentación, de las dos clases de sorgo. Los resultados que se muestran se obtuvieron a partir del porcentaje promedio de descenso de peso de cuatro erlenmeyers del mismo mosto inicial.

En los primeros días de fermentación ocurre un aumento progresivo del descenso de peso. Con el transcurso de los días se observa una disminución de la velocidad debido a que el alcohol,

producto de la fermentación, inhibe el normal funcionamiento de las levaduras, como así también a la menor disponibilidad de azúcares fermentables.



Figura 1: Curvas de descenso de peso promedio versus tiempo, para cada variedad de sorgo.

En el análisis comparativo de ambas variedades de sorgo se observa que la diferencia se debe a una posible presencia de taninos en el sorgo colorado, aunque el color de los mismos no es un factor determinante de la existencia de éstos (Rooney & Dykes, 2004). Afectan a la actividad microbiana, provocando una disminución de la producción de CO₂ y consecuentemente un menor descenso de peso (Martínez, McCallister, Alarcón, Wang, & Barroso, 2005).

4. Conclusiones

Las curvas de porcentaje de descenso de peso versus tiempo, revelan que la velocidad de la fermentación varía con el transcurso del tiempo, siendo mayor durante las primeras horas. Los motivos de esta variación son la disponibilidad de nutrientes y la concentración de alcohol, la cual inhibe el crecimiento de las levaduras.

En lo que se refiere a la comparación de la capacidad productora de etanol de los dos tipos de sorgo, se encuentra que el blanco alcanza un 11% de descenso de peso, mientras que el colorado llega a valores algo mayores del 6%, quedando en evidencia una notable diferencia entre ambos, siendo más conveniente la utilización de sorgo blanco para la obtención de bioetanol.

5. Agradecimientos

A la SCyT de la FRVM de la UTN por el apoyo recibido para el desarrollo del presente trabajo y a la empresa PORTA Hnos S.A. por sus aportes de insumos, equipamientos y disponibilidad de información técnica específica que permitieron la realización de los ensayos experimentales, los cuales fueron llevados a cabo en el contexto del convenio marco de vinculación tecnológica existente.

6. Referencias

- Biblioteca Digital de la Universidad de Chile. (s.f.). Recuperado en Marzo de 2012, de Aplicación de preparados enzimáticos en las diferentes industrias alimentarias. Sistemas de Servicios de Información y Bibliotecas (SISIB).
- Fernández, C., & Garro, O. A. (2004). Alcohol a partir de sorgo dulce. Sacarificación y fermentación. Universidad Nacional Del Nordeste: Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.

- Hernández Gil, R. (s.f.). (2002) Respiracion. Libro Botanica On-Line. Mérida, Venezuela, Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes.
- Martínez, T. F., MCallister, T., Alarcón, F., Wang, Y., & Barroso, F. (2005). Fermentación ruminal in vitro de harina de trigo tratada con taninos: Efecto sobre la producción de gas, NH₃, digestión de la materia seca y crecimiento bacteriano. SEOC, 225-225.
- Procesamiento y Conservación de Frutas; Universidad Nacional de Colombia. (s.f.). (2005) Bogotá D.C, Colombia.
- Rooney, R., & Dykes, C. M. (s.f.). (2004) Mitos acerca de los Taninos.
- Vázquez, H., & Dacosta, O. (Mayo 2007). Fermentacion Alcoholicas: Una Opcion para la produccion de energia renovable a a partir de desechos agricolas. Ing Investig Tecnol., 249-259.

MEDIDOR DE RADIACION SOLAR CON ALMACENAMIENTO EN MEMORIA SD

Departamento de Ingeniería Electrónica

Autor: **Fabián Sensini**; Legajo UTN: 4995; Tutor: **Ing. Franco Salvatico**.

Contacto: fabiansensini@gmail.com; UTN FRVM – Av. Universidad 450 – Villa María – Córdoba.

Palabras Claves: Radiación Solar, Fotodiodo, Ozono, Atmosfera, Ondas Electromagnéticas.

Resumen

La radiación solar es la energía emitida por el sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esta energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima, la misma después de pasar por la atmósfera, donde sufre un proceso de debilitamiento, alcanza la superficie terrestre, oceánica y continental, que la refleja o la absorbe, donde la radiación que finalmente llega a la superficie de la tierra se clasifica en: **Directa, Difusa y Global**.

Medir la radiación solar es importante para una amplia variedad de aplicaciones, tales como el monitoreo del efecto en el crecimiento de las plantas, análisis de la evaporación e irrigación del agua, arquitectura y diseño de edificios, generación de electricidad, diseño y uso de sistemas de calentamiento solar, implicaciones en la salud (cáncer de piel), modelos de predicción del tiempo y el clima entre otros. Los niveles de radiación en la superficie terrestre dependen de varios factores como son: la posición del sol, la altitud, la latitud, el cubrimiento de las nubes, la cantidad de ozono en la atmósfera y la reflexión terrestre, además estos niveles varían durante el día y a lo largo del año, presentándose los mayores niveles en el día cuando el sol se encuentra en su máxima elevación.

La medición de la radiación solar se realiza en dos espectros, debido a que no existe un sensor capaz de medir todo el espectro, estos son el UV (215 a 380 nm) y uno denominado global (380 a 1100 nm) que abarca el espectro visible y una parte del infrarrojo, para esto se diseña un sensores que utiliza dos fotodiodos para esas longitudes de onda; la radiación global es la que abarca la mayor cantidad de energía que incide y la radiación UV es la más peligrosa para las personas, esta radiación es la que ocasiona daños sobre la piel pudiendo ser causa de cáncer. El dispositivo presentado realiza la medición de la radiación solar y almacena los datos obtenidos en una memoria SD, donde se genera un archivo de datos en Excel donde se escriben los valores de radiación, la fecha y la hora a la cual se realiza la medición obteniendo así información para generar un histórico de los valores medidos.

Radiación solar, que es y para que se utiliza

La radiación solar es la energía emitida por el sol, que se propaga en todas las direcciones, en la Figura N° 1 se observa el espectro de radiación que incide en la superficie terrestre. Los niveles de radiación varían durante el día y a lo largo del año, presentándose los mayores niveles en el día cuando el sol se encuentra en su máxima elevación (entre las 10 a.m. y las 2 p.m.; el 60% de la radiación es recibida a estas horas). Por el contrario, cuando el ángulo del sol está más cercano al horizonte llega menos radiación a la superficie de la Tierra debido a que atraviesa una distancia más larga en la atmósfera y encuentra más moléculas de ozono, dando lugar a una mayor absorción. En zonas diferentes a los trópicos los máximos niveles se presentan en los meses de verano alrededor del mediodía, la altitud también determina la cantidad de radiación que se recibe, debido a que en zonas de alta montaña el aire es más limpio y la capa atmosférica más delgada determinándose que a mayor altitud mayor radiación. Otro aspecto relevante son las nubes que pueden tener un impacto importante en la cantidad de radiación que recibe la superficie terrestre, generalmente las nubes densas bloquean más radiación que una nube delgada, por ejemplo los días de lluvia o muy nublados reducen la exposición, en algunos casos hasta un 50% o más. Otro factor importante en la determinación de la intensidad de radiación a la cual se está expuesto y que recibe una persona, es el tiempo que la misma permanece expuesta al Sol. Las personas que

trabajan o juegan al aire libre durante largos períodos de tiempo sufren riesgos mayores por los efectos perjudiciales de la exposición a la radiación solar pero principalmente a causa de la radiación UV, razón por la cual en verano estar expuesto a esta radiación es mucho más perjudicial. El uso de los salones para bronceado también aumenta el riesgo, porque la radiación ultravioleta, cualquiera sea la fuente, contribuye en daños a largo plazo sobre la piel, estos pueden ser quemaduras de diferentes grados, úlceras y en el peor de los casos puede ocasionar cáncer, por tal motivo es aconsejable utilizar protección de grado alto cuando tenemos que estar expuestos al sol y en caso de estar tiempos prolongados se aconseja repetir la protección periódicamente.

Solamente las nubes tipo cúmulos de gran desarrollo vertical atenúan la radiación UV prácticamente a cero, el resto de las formaciones tales como cirrus, estratos y cúmulos de poco desarrollo vertical no la atenúa, por lo que es importante utilizar protección aún en días nublados, además de tener especial cuidado cuando se desarrollan nubes cúmulos de poca envergadura, ya que pueden llegar a actuar como difusores e incrementar la intensidad de los rayos UV y por consiguiente el riesgo solar, algunas nubes tenues pueden tener el efecto de lupa.

Cabe aclarar que la radiación UV se divide en tres espectros distintos, el UV-A; UV-B y UV-C, el fotodiodo que se utiliza para medir esta radiación comprende los espectros UV-A el cual aporta aproximadamente el 90% de esta radiación y el UV-B, parte del cual es absorbido por el ozono, el UV-C no se mide debido a que la capa de ozono lo absorbe por completo. Estos dos últimos espectros son los que mayor daños causan en la piel, debido a que el valor de la radiación UV que incide sobre la tierra es el más perjudicial para la salud y como los mismos se incrementan cada vez mas debido a la debilitación en la capa de ozono, es de gran interés conocer este valor para saber cómo debemos actuar al momento de estar expuestos a la radiación solar.

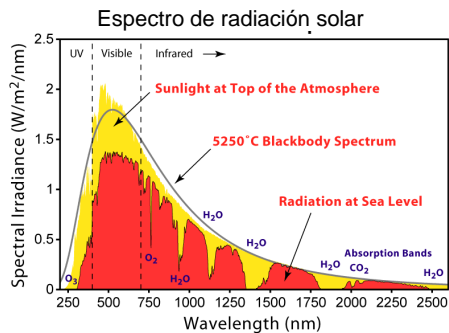


Figura Nº 1.

Entre las múltiples aplicaciones de la energía solar se encuentran su aprovechamiento como luz directa, como fuente de calor y en la generación de electricidad:

Como luz directa: se utiliza para iluminación, secado de ropa y en algunos productos en procesos de producción con tecnología simple.

Como fuente de calor: puede utilizarse para el calentamiento de algún sistema que posteriormente permitirá la climatización de viviendas, calefacción, refrigeración, secado, entre otros; los sistemas de aprovechamiento térmico permiten que el calor recogido en los colectores pueda destinarse y satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien generar calefacción a casas, hoteles, colegios, etc.

Generación de electricidad: es la energía aprovechada por medio de celdas fotovoltaicas (celda solar) capaz de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin necesariamente pasar por un efecto térmico. Para lograr esto la energía solar se recoge de una forma adecuada a través de módulos fotovoltaicos. La electricidad que se obtiene de esta manera puede usarse de forma directa, o bien ser almacenada en acumuladores para usarse en horas nocturnas, incluso es posible inyectar la electricidad sobrante a la red general, obteniendo un importante beneficio.

En la agricultura: su aplicación es muy amplia, en invernaderos solares pueden obtenerse mayores y más tempranas cosechas; los secaderos agrícolas consumen mucha menos energía si

se combinan con un sistema solar, y por citar otro ejemplo, pueden funcionar plantas de purificación o desalinización de aguas sin consumir ningún tipo de combustible.

Las "células solares", dispuestas en paneles solares, ya producían electricidad en los primeros satélites espaciales. Actualmente se perfilan como la solución definitiva al problema de la electrificación rural, con clara ventaja sobre otras alternativas, pues, al carecer los paneles de partes móviles, resultan totalmente inalterables al paso del tiempo, ni producen ningún ruido en absoluto, no consumen combustible y no necesitan mantenimiento. Además, y aunque con menos rendimiento, funcionan también en días nublados, puesto que captan la luz que se filtra a través de las nubes.

Es por estas aplicaciones que debemos tomar muy en serio la obtención de los datos de la Radiación Solar, sobre todo en los lugares en que pensamos hacer estas aplicaciones, teniendo esta información nos ayuda a informar sobre el aumento de los Rayos UV y sus efectos sobre la salud, registrar las Cantidades de Radiación Solar para su aplicación en la generación de electricidad, calor y su importancia en cantidad necesaria para requerimientos agrícolas, desde luego en combinación con los datos climatológicos.

Medición de la radiación solar

Para tal fin se desarrolla un sensor que contiene dos fotodiodos debido a que en el mercado no existe un fotodiodo o sensor capaz de medir todo el espectro de radiación y un circuito acondicionador de señal (que es un amplificador para realizar una conversión de corriente a tensión eléctrica) ya que los fotodiodos proporcionan un valor de corriente proporcional al nivel de radiación solar que incide sobre ellos, convirtiéndola en tensión se ingresa con esta al microcontrolador que por medio de sus conversores analógicos-digitales (A/D) proporciona una señal digital del valor de radiación medida por los fotodiodos. Esta etapa es la encargada de obtener los índices correspondientes a la radiación solar incidente, la cual es medida en Watts por metros cuadrados (W/m^2). Como se menciona con anterioridad se opta por la utilización de dos fotodiodos, se puede observar en la Figura N° 2c el sensor físico que está compuesto por el fotodiodo de la derecha que es el encargado de medir la radiación UV incidente y el fotodiodo de la izquierda que mide la radiación global, se utilizan estos sensores debido a que es la franja del espectro de radiación (200 nm a 1100 nm) en la cual se concentra la mayor parte de la energía proveniente del sol, mostrado en la Figura N° 1 (espectro de radiación solar), e incidente sobre la superficie terrestre.

Debido a que la señal entregada por los fotodiodos debe acondicionarse, para utilizar un convertor A/D incluido en el microcontrolador utilizado, y así obtener los valores de radiación solar que se desean medir, se utiliza para tal fin un amplificador operacional en configuración de convertor de corriente a tensión, en la Figura N° 2a se observa el esquema eléctrico utilizado para tal fin y para cada fotodiodo.

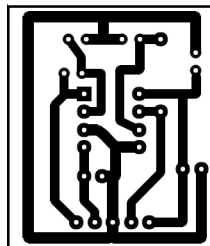
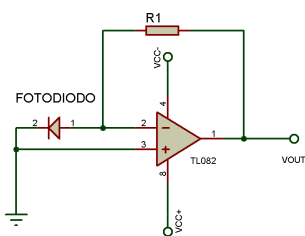


Figura N° 2a Circuito eléctrico Figura N° 2b Diseño de placa Figura N° 2c Placa terminada

Como el nivel de tensión obtenido es negativo por la configuración del amplificador lo que se hace es agregar otra etapa amplificadora con ganancia unitaria y negativa para invertir el nivel de señal proveniente de los sensores. Además de esta forma se logra separar la etapa de medición del micro lo cual es muy importante para que los sensores vean una alta impedancia y no carguen al microcontrolador, logrando un correcto funcionamiento del A/D y obteniendo una medición

correcta. Los conversores A/D que tiene incorporado el microcontrolador, tienen una resolución de 10 bits lo que le da una resolución en tensión de 4,82 mV por cada bit, este valor se obtiene de la ecuación N° 1-1, es decir que vamos a tener una señal digital que varía cada 4,82 mV; luego a la conversión de la señal analógica en digital se utiliza la ecuación 1-2 para obtener el nivel de tensión que tenemos a la entrada del A/D, de esta manera se toman las mediciones correspondientes a cada sensor y se utilizan estos valores para mostrarlos en el display LCD y almacenarlos en la memoria SD para generar el archivo histórico.

$$\text{resolución} = \frac{V_{ref}}{(2^N - 1)} = \frac{5V}{(1024 - 1)} = 4,88mV \quad \text{Ecuación (1-1)}$$

$$D = \frac{((\text{señalA/D}) * V_{ref})}{2^N} \quad \text{Ecuación (1-2)}$$

D = Nivel de tensión; Vref = Tensión de referencia; N = Número de bits que utiliza el A/D.

Para la obtención de los niveles de radiación y debido a que los fotodiodos entregan un valor de corriente que es directamente proporcional a los valores de radiación medidos, se utiliza el nivel de tensión entregado por el A/D multiplicado por una constante que se obtiene de la relación del convertor de corriente a tensión y de la relación corriente radiación solar que entrega el fotodiodo. El cálculo de la radiación se implementa por medio del software del microcontrolador, ya que se utiliza una ecuación (ecuación 2-3) donde se calcula el valor de la misma en Watts por metros cuadrados (W/m²), este cálculo se hace en función de la corriente generada por el fotodiodo, que en el microcontrolador es leída como un nivel de tensión mediante sus conversores A/D.

$$R_d = \frac{I_{in}}{(S(\lambda) * A_r)} \quad \text{(Ecuación 2-1)}$$

$$V_{out} = I_{in} * R \Rightarrow I_{in} = \frac{V_{out}}{R} \quad \text{(Ecuación 2-2)}$$

La ecuación 2-2 es la ecuación del convertor de corriente a tensión, si reemplazamos la ecuación 2-2 en la ecuación 2-1 obtenemos la ecuación 2-3 utilizada para el cálculo de la radiación solar.

$$R_d = \frac{\left(\frac{V_{out}}{R}\right)}{(S(\lambda) * A_r)} = \frac{V_{out}}{(S(\lambda) * A_r * R)} \quad \text{Ecuación 2-3}$$

Rd = radiación incidente en los fotodiodos en Watts por metros cuadrados (W/m²).

Iin = corriente generada por el fotodiodo en Amperes (A).

S(λ) = sensibilidad del sensor en Amperes por Watts (A/W).

Ar = área activa del sensor, expresada en metros cuadrados (m²).

Vout = D = tensión medida en el A/D del microcontrolador y expresada en Voltios (V).

R = resistencia de realimentación del convertor de corriente a tensión en Ohm (Ω).

Reemplazando las variables por sus correspondientes unidades obtenemos la unidad de medida de la radiación que es W/m² como se observa en la ecuación 2-4.

$$R_d = \frac{V}{((A/W) * m^2 * \Omega)} = \frac{V * W}{A * m^2 * \Omega} = \frac{A * W}{A * m^2} = \frac{W}{m^2} \quad \text{Ecuación 2-4}$$

La ecuación utilizada es la misma para ambos fotodiodo, lo que varía para cada uno de ellos son los valores de la sensibilidad y el área activa, es decir el área que tiene cada fotodiodo para captar la radiación solar, estos valores se obtiene de sus respectivas hojas de datos.

Para obtener una medición en tiempo real y no tener que esperar a descargar el archivo en una computadora para ver los valores de radiación se le agrega al proyecto un LCD (display de cristal líquido) compuesto por dos líneas para la escritura y dieciséis caracteres por cada una de estas líneas. En la figura N° 3 se puede observar la pantalla utilizada, mostrándose en la primer fila la fecha y la hora actual y en la segunda fila se visualizan los valores de la radiación solar separada en radiación global (S) y radiación UV, este display es controlado por el microcontrolador, utilizándose tres pines de comunicación para el control y cuatro pines para la transmisión de

datos, hace más simple mostrar los datos el hecho de que el LCD posee una memoria interna en la cual tiene almacenada una tabla de valores, de esta manera solo basta con enviar un código con el valor de cada carácter que se desea visualizar o imprimir en pantalla, este código es almacenado en la memoria de escritura, y de esta manera se van escribiendo los mismos en el LCD hasta completar todos los valores a mostrar. El microcontrolador se encarga de enviar la rutina de inicialización, control y los caracteres correspondientes a los datos a escribir en el LCD.



Figura N° 3

Almacenamiento de datos

Para el almacenamiento de los datos obtenidos se utiliza una memoria microSD, (también se pueden utilizar memorias SD y memorias MMC), la cual es comandada por el microcontrolador mediante el protocolo de comunicación SPI, este protocolo se configura por software en el microcontrolador, el cual funciona como maestro por lo que éste envía las señales de control y las señales de escritura; para la escritura en la memoria se crea un archivo Excel, como se observa en la Figura N° 4, en el cual se escriben los datos de cada lectura separados por fila, que a su vez se separa en cuatro columnas donde se identifican de la siguiente manera; en la primera columna se guarda el valor de la radiación solar, en la segunda columna el valor de la radiación UV, en la tercera columna la hora a la cual se toma la medición y en la cuarta columna la fecha en la cual se tomó la medición, al guardar los datos de esta forma se logra generar un archivo histórico ordenado por fecha y hora de medición; este archivo se sobrescribe cada un periodo especificado por software, controlado por el microcontrolador que por configuración inicial es cada un minuto, cuyo intervalo se puede configurar desde un minuto hasta una hora como máximo, para esto se utilizan pasos de a un minuto y se accede al menú de configuración desde los botones de control que se ubican en el frente del dispositivo. La capacidad de la memoria utilizada es de 1 Gigabytes lo que le da al proyecto una capacidad de almacenamiento de datos de varios días, ya que el archivo generado ocupa muy poco espacio, este se incrementa a medida que se van agregando datos, debido al software asociado al control y escritura en memoria se pueden utilizar memorias del tipo SD, MMC o microSD (con su correspondiente adaptador) y con una máxima capacidad de almacenamiento de 2 Gigabytes.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Datos del medidor de radiacion							
2	Solar	UV	Hora	Fecha				
3	67.87	56.15	19:52	30/08/2010				
4	65.42	54.19	19:57	30/08/2010				
5	100.09	76.66	20:02	30/08/2010				
6	101.56	77.14	20:07	30/08/2010				
7	99.60	77.63	20:12	30/08/2010				
8	86.91	67.87	20:17	30/08/2010				
9	93.26	74.70	20:22	30/08/2010				
10	104.49	79.58	20:27	30/08/2010				
11	100.09	78.12	20:32	30/08/2010				

Figura N° 4, Archivo Excel generado en la memoria SD.

Dispositivo terminado

Como se puede observar en la figura N° 5 el dispositivo quedo correctamente presentado como así también en un tamaño acorde para su portabilidad. En la figura N° 5c se puede observar la placa principal del dispositivo, la fuente de alimentación, el slot de conexión para la memoria SD y el conector para el sensor.



Figura N° 5a Lateral de periféricos



Figura N° 5b Frente



Figura N° 5c Interior

Conclusiones

La realización de este proyecto fue un proceso arduo, realizar un dispositivo que pueda medir la radiación solar (global y UV) y almacenar los datos obtenidos en una memoria SD. Esto lo conseguí desarrollando un único sensor físico, el cual está compuesto por dos fotodiodos y sus amplificadores en una sola unidad, así se logro sensar ambos espectros con un solo dispositivo, al mismo tiempo lograr la adquisición de datos en una memoria SD mediante un archivo Excel lo que le da al dispositivo una gran capacidad de memoria y la posibilidad de generar archivo histórico con los datos obtenidos de la medición, lo que le brinda al dispositivo portabilidad al no depender de una conexión externa con una PC mediante cables de conexión para visualizar el archivo generado y procesar los datos obtenidos.

Este desafío exigió acudir a numerosos conocimientos adquiridos, como así también a profundizar otros que escapan a nuestra formación académica, lo que me llevo a investigar sobre la radiación solar y que dispositivos utilizar para medirla, pero al verlo en funcionamiento me lleno de orgullo y me motivo a seguir con esta investigación.

Bibliografía

- [1] Notas Sobre Radiación Solar; Hugo Grossi Gallegos; Universidad Nacional de Lujan; Primera Edición.
- [2] Atlas de Radiación Solar de la República Argentina; H. Grossi Gallegos y R. Righini; Universidad Nacional de Lujan; Primera Edición; 1997.
- [3] Energía Solar, Luis Jutglar; CEAC; Primera Edición; 2004.
- [4] Elevated ultraviolet (UV)-B radiation and agricultura; Sagar V. Krupa, R. N. Kickert, H. J. Jäger; Springer; Primera Edición; 1998.

Información general

- [1] http://www.meteochile.cl/instrumentos/inst_electronico.html
- [2] <http://www.asades.org.ar>
- [3] <http://www.epsea.org/esp/pdf2/Capit01a.pdf>
- [4] <http://www.cicytpt.org.ar/climatologiafca/docencia/apuntes/tema2.pdf>
- [5] <http://www.unicen.edu.ar/crecic/analesafa/vol16/g8-283-286.pdf>
- [6] <http://www.i-micro.com/pdf/articulos/spi.pdf>
- [7] <http://alumni.cs.ucr.edu/~amitra/sdcard/ProdManualSDCardv1.9.pdf>
- [8] <http://www.scitec.uk.com/uvphotodiodes/>

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE FACTORES DE ESTRÉS EN LEVADURAS INDUSTRIALES Y LEVADURAS DE PANIFICACIÓN

Bernardo Sigifredo¹; M. Celeste Stroppiano¹

Tutores: Ing. Romina A. Beltrán²; Tca. Nadia Z. Comba²

¹Departamento de Química. Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Villa María, Av. Universidad 450. Villa María. Córdoba. Argentina

²Grupo de Investigación en Simulación para Ingeniería Química-GISIQ-F. R. Villa María de la UTN Av. Universidad 450, X5900HLR, Villa María, Córdoba, Argentina.

E-mail: bernisigi@hotmail.com

RESUMEN

La fermentación alcohólica es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire (oxígeno - O₂), originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los azúcares para obtener como productos finales un alcohol en forma de etanol (cuya fórmula química es: CH₃-CH₂-OH), dióxido de carbono (CO₂) en forma de gas y unas moléculas de ATP que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico. Durante la experimentación se evaluó el comportamiento de las levaduras sometidas a intoxicación alcohólica, aumento de pH e infección con bacterias productoras de ácido láctico, en mostos de maíz, midiendo el rendimiento indirectamente por la pérdida de peso de la muestra. De acuerdo a los resultados obtenidos a lo largo de la experimentación se pudo observar que tiene mayor resistencia a los cambios del medio las levaduras de uso industrial frente a las de uso en panificación.

También podemos decir que las levaduras de uso en panificación y las levaduras industriales presentan su mayor producción de alcohol durante el tiempo medio de incubación, siendo mayor el descenso de peso en la levadura utilizada industrialmente.

PALABRAS CLAVES: Fermentación alcohólica, levaduras industriales, levaduras de panificación, intoxicación alcohólica, aumento del pH, ácido láctico.

1. Introducción

Las levaduras son hongos unicelulares capaces de transformar los hidratos de carbono en alcohol y dióxido de carbono, proceso conocido como fermentación alcohólica. La especie más utilizada en dicho proceso es la *Saccharomyces Cerevisiae*. Para las fermentaciones a gran escala existen cepas modificadas genéticamente, como es el caso de levaduras industriales, con el fin de aumentar su capacidad de producción y resistencia a factores no óptimos, tales como altas temperaturas, elevadas concentraciones de etanol, entre otros. La diferencia existente entre las levaduras de uso industrial y las de uso cotidiano, o de panificación, se basan en que las últimas no poseen resistencia a altas concentraciones de etanol y a variaciones ocasionadas en el medio donde se encuentran, es decir, una pequeña modificación en las condiciones óptimas de trabajo repercute directamente en el rendimiento.

En un medio apto los microorganismos crecen favorablemente, un cambio en las condiciones de crecimiento como temperatura, presión osmótica, intoxicación alcohólica, infección bacteriana, alcalinización del medio afectará la propagación de los mismos, a éste estado de alteración se lo denomina normalmente estrés (Jacques, Lyons, & Kelsall, 2003).

En el presente trabajo se analizaron los efectos que producen los diferentes factores de estrés en la producción de alcohol de dos levaduras que tienen diferentes usos comerciales.

1.2. Intoxicación alcohólica

Cuando la levadura se encuentra en la etapa de reproducción produce una cantidad de alcohol 30 veces mayor que en su fase estacionaria. La primera fase es de latencia, durante la cual la levadura debe adaptarse al ambiente. En este periodo, es poco o nulo el crecimiento de la levadura y por consiguiente no se producirá alcohol (esta etapa tiene una duración de 4 a 12 horas). La segunda fase, llamada de crecimiento exponencial, es la más importante, en la que se produce casi la totalidad del alcohol. El tiempo que la levadura puede permanecer en esta fase es función de los nutrientes disponibles y los productos generados, factores que limitan la cantidad de alcohol producido. En mostos que contengan desde un 13% de alcohol la fermentación se verá afectada notablemente (Dacosta, 2007).

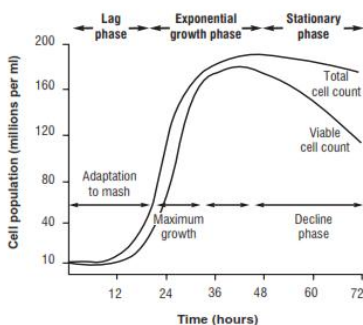


Figura 1: Curva de crecimiento microbiano (Jacques, Lyons, & Kelsall, 2003)

Se realizaron dos ensayos, con diferentes concentraciones de etanol, para comparar cómo el desarrollo de las levaduras se ve afectado, efecto que se reflejó en la merma de producción de dióxido de carbono.

1.3. Alcalinización del medio

El pH es un factor importante en la fermentación, debido al control que ejerce frente a la contaminación bacteriana como así también en el efecto del crecimiento de las levaduras, la velocidad de fermentación y la producción de alcohol. Durante la fermentación la levadura toma el nitrógeno de los aminoácidos orgánicos, perdiendo su carácter anfótero y pasando a ácidos, lo cual origina una disminución del pH del medio. Según estudios se halló que el pH más favorable para el crecimiento de la *Saccharomyces Cerevisiae* se encuentra entre 4.4 - 5.0, con un pH de 4.5 para su crecimiento óptimo. Un entorno neutro o moderadamente alcalino es poco favorable para el crecimiento de la levadura y la alcalinización súbita del medio, le supone una importante situación de estrés que afecta negativamente su crecimiento y productividad. Se evaluó el rendimiento de las levaduras frente al agregado de 6% de hidróxido de sodio, cantidad suficiente para llegar a un pH de 9 (Vargas, 2010).

1.4. Infección por bacterias productoras de ácido láctico

Los lactobacillus crecen en superficie sobre medio sólido, favoreciéndose su crecimiento en anaerobiosis al 5-10% de dióxido de carbono. El intervalo de temperatura y de pH óptimo de crecimiento se sitúa entre 35-38°C y 5,5-5,8 respectivamente. Los lactobacillus transforman la glucosa y las hexosaldehídicas similares. Los carbohidratos que producen estos azúcares simples y los alcoholes polihidroxílicos en ácido láctico lo hacen por homofermentación o bien, producen ácido láctico y otros productos adicionales como ácido acético, etanol, dióxido de carbono, ácido fórmico y

ácido succínico. Además producen peróxido de hidrogeno, radicales libres, diacetilo, acetaldehído, isómeros D de los aminoácidos, antibióticos y bacteriocinas.

A pesar de que las levaduras producen algunos ácidos orgánicos durante la fermentación, las concentraciones son relativamente bajas en comparación con las producidas por los lactobacilos y otras bacterias contaminantes, afectando así el rendimiento de alcohol. (Hernandez Gil, 2001)

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Reactivos y Equipamiento

Muestras de maíz procedentes de la zona centro-sur de la provincia de Córdoba, levadura activa seca Industrial Bayanus, Laffort, levadura activa seca comercial Levox, enzimas α -amilasa Spexyme® Alphaygluco-amilasa Distillase® SSF, ácido sulfúrico Pro-análisis Cicarelli, frascos erlenmeyer de 500 ml, tapones de silicona con airlocks, balanzas Scout Pro, Ohaus® y Scale Systems, Ecopower, agitador Crismet Modelo: DALV-50, agitador orbital TS 2000A, estufa Recitem®, molino, embudo de Buchner, bomba de vacío, refractómetro óptico Arcano Modelo: Ref 107 y digital Modelo Arbo-95, micropipetas Boeco de 1-10 ml, de 10-100 μ l y de 100-1000 μ l, cintas indicadoras de pH Merc, hidróxido de sodio Pro-análisis Cicarelli, etanol Porta Hermanos, yogurt de reconocida marca.

2.2. Preparación del mosto

Para la preparación del mosto se mezclaron 500 g de maíz previamente molido con 1400 ml de agua de red de clorinada en un vaso de precipitado. Luego se agregó 0.033 ml de enzima alfa-amilasa, se agitó 5 minutos y se calentó en un recipiente presurizado durante 30 minutos, donde luego de alcanzar este tiempo se despresurizó para evaporar agua a presión atmosférica durante 2 minutos. A continuación se enfrió a 60°C aproximadamente. Se agregaron 0,067 ml de alfa-amilasa y se agitó durante 30 minutos. A continuación se corrigió el pH del mosto a 5 con ácido sulfúrico, se agregó 0,31 ml de gluco-amilasa, se agitó durante 5 minutos. Posteriormente se dividió el mosto en dos partes iguales, agregando 0,5 g de levadura industrial a la primera, y 0,5 g de levadura de panificación a la restante, ambas hidratadas previamente en agua destilada.

A cada mitad de mosto se lo dividió en 3 partes iguales, tomando una como blanco e infectando las dos restantes con el factor de estrés a evaluar, graduación de alcohol, alcalinización del medio o inhibición por bacterias productoras de ácido láctico.

La producción y liberación de dióxido de carbono durante el proceso de fermentación se vio reflejado en el descenso de peso. Se pesó cada Erlenmeyer vacío con su respectivo airlock y se registró el peso total. Se incubó durante 96 h en estufa a una temperatura de 32°C con agitación intermitente y cada 24 h se pesó.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Al intoxicar el mosto con alcohol, obteniendo una concentración final del 14%, no se observó descenso de peso hasta las 48 h, entendiéndose que esto puede ocurrir por el proceso de adaptación de la levadura, prolongado por estrés provocado. Cerca del periodo final de incubación el porcentaje de descenso es invariable ya que las levaduras fueron afectadas por el alcohol adicionado y el producido.

En la figura 2 se pueden observar de forma comparativa el análisis del promedio de las dos muestras inhibidas junto con los blancos de cada levadura. El mayor descenso, consecuencia de la mayor producción de alcohol fue en los blancos, como era esperado. En ésta grafica se puede ver como el blanco de la levadura industrial produce mayor alcohol que el blanco de la levadura de

panificación, esto se debe a que las levaduras de uso industrial están diseñadas para ser más resistentes debido a la modificación genética que presentan.

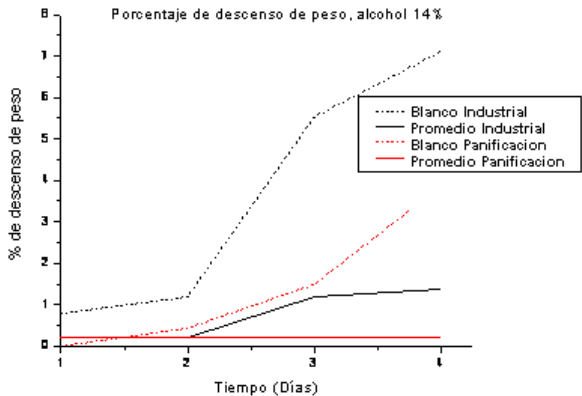


Figura 2: Curvas de descenso de peso con 14% de etanol

En la figura 3 se pueden observar un análisis comparativo del promedio de las dos muestras intoxicadas con alcohol hasta la concentración final del 6%, junto con los blancos las levaduras analizadas. En el mismo puede observarse descenso de peso, con diferentes velocidades, para la levadura industrial, mientras que la de panificación tuvo un período de adaptación mayor, y el descenso total de peso fue menor. Respecto a las muestras no infectadas, la levadura industrial tuvo un tiempo de adaptación, pero luego de este el descenso de peso fue mayor a la levadura de panificación.

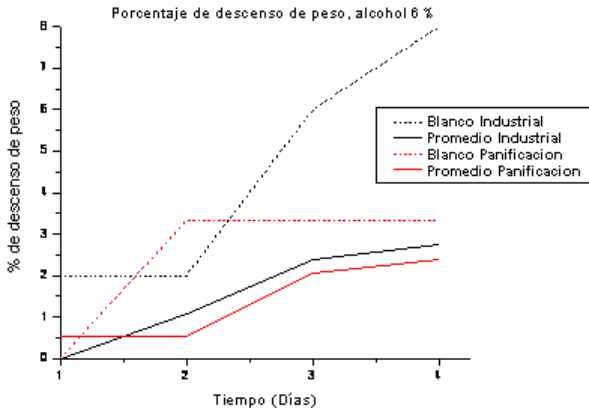


Figura 3: Curvas de descenso de peso con 6% de etanol

Otro factor de estrés ensayado fue el aumento de pH, logrado con el agregado de NaOH. En la figura 4 se graficaron los promedios de las muestras infectadas y el blanco para la levadura industrial, versus el tiempo de incubación, faltando el de levadura de panificación ya que se rompió el Erlenmeyer en el cual se ensayaba, y por inconvenientes de tiempo no se pudo repetir. En este caso

puede observarse que ambas levaduras presentaron un promedio de descenso de peso similar, pero inferior al blanco de la levadura industrial.

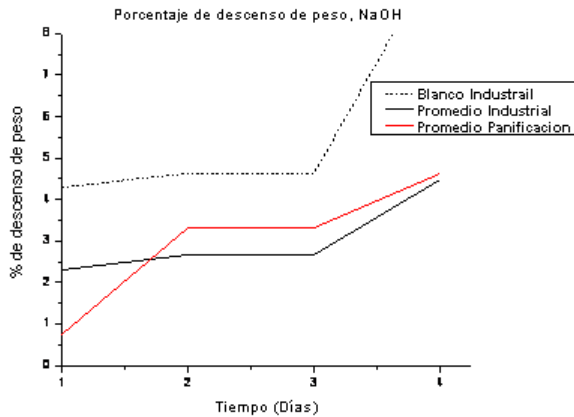


Figura 4: Curvas de descenso de peso con NaOH

También se analizó intoxicación por medio del agregado de bacterias productoras de ácido láctico, comparando la disminución de los grados Brix de las muestras patrones, observando que las levaduras industriales, a igual periodo de tiempo, consumen mayor cantidad de azúcar que las levaduras de panificación, traduciéndose esto en una mayor producción de alcohol. Cuando se comparan las muestras sin bacterias lácticas con aquellas que fueron infectadas, se verifica una disminución aún mayor de los grados Brix, debido a la mayor actividad microbiana. Estos microorganismos no son productores de etanol, por lo cual consumen sustrato que podría convertirse en alcohol, para generar ácido láctico y otros productos, siendo esto perjudicial para el rendimiento del proceso.

A continuación se ilustran las tablas con los valores de grados Brix medido con refractómetro digital, ya que presenta mejor precisión:

Tabla 1: Grados Brix al inicio y final de la fermentación, en Blanco e infectado

	Levaduras industriales		Levaduras de panificación	
	Blanco	Estrés	Blanco	Estrés
°Brix iniciales	16,4	16,4	16,4	16,4
°Brix finales	6,6	5,2	8,1	6

4. Conclusiones

Como consecuencia de los resultados obtenidos podemos concluir que las levaduras de uso industrial presentan una resistencia mayor a la inhibición de diferentes factores de intoxicación. Este resultado es bueno, ya que, éste tipo de levaduras están más preparadas genéticamente para poder resistir las diferentes situaciones que se presentan durante un proceso productivo. En contraste con aquellas de uso en panificación que se ven más afectadas a los factores de estrés dados para la producción de alcohol.

5. Agradecimientos

A la SCyT de la FRVM de la UTN por el apoyo recibido para el desarrollo del presente trabajo y a la empresa PORTA Hnos S.A. por sus aportes de insumos, equipamientos y disponibilidad de información técnica específica que permitieron la realización de los ensayos experimentales. Los cuales fueron recibidos en el contexto del convenio de vinculación tecnológica existente.

6. Referencias

- Gil, R. H. (2001). Respiracion. Mérida - Venezuela: UVD, Unidad de Desarrollo Virtual.
- Jacques, K., Lyons, T., & Kelsall, D. (2003). The alcohol textbook. Nottingham University Press.
- Vargas, L. T., Ponce, H. R., Fernández, I. V., Guzmán, A. L., Santos, M. P., & Basurto, J. H. (2010). Complementos nutricionales para el rendimiento y nutrición del cultivo de melón con fertirriego y acolchado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5-15.
- Vázquez, H., & Dacosta, O. (Mayo 2007). Fermentación Alcohólica: Una Opción para la producción de energía renovable a a partir de desechos agrícolas. *Ing Investig Tecnol.*, 249-259.

FILTRO ADAPTIVO BASADO EN DISPOSITIVOS PROGRAMABLES

Mónica A. Lovay

Grupo de Estudio en Calidad en Mecatrónica, Facultad Regional Villa María,
Universidad Tecnológica Nacional, mlovay@gmail.com

Resumen

En este trabajo se aborda el problema de proveer tolerancia a fallas a un filtro pasabajo de octavo orden, el cual tiene la capacidad de adaptarse a cambios que puedan motivar un apartamiento de las características deseadas del mismo. Para ello, se utilizan los principios de hardware evolutivo. El filtro bajo estudio se implementa a través de la conexión en cascada de cuatro filtros bicuadráticos. Si se detecta que la característica de transferencia del filtro sobrepasa los límites aceptables para la aplicación, se propone reconfigurar el filtro, utilizando los valores de capacidades y ganancias disponibles en el chip. Para poder establecer si es necesaria la reconfiguración del filtro se utiliza el método de análisis transitorio. La evaluación de la performance del esquema presentado se efectúa a través de un modelo de fallas paramétricas. Los resultados de las simulaciones realizadas muestran que el filtro es capaz de mantener su funcionalidad bajo la presencia de fallas.

1. Introducción

Cuando un filtro se encuentra operando en una aplicación, pueden existir determinados agentes que contribuyan a disminuir su performance, por ejemplo, a través de la degradación de algunos de los componentes del filtro (capacidades, resistencias, amplificadores operacionales, interconexiones, etc.). Estas degradaciones pueden hacer que la característica de transferencia del mismo sobrepase los límites aceptables para la aplicación. En este contexto, si la aplicación es crítica, puede requerirse de características de funcionamiento seguro, adaptación a un entorno cambiante, o la capacidad para compensar las degradaciones en sus propios circuitos.

El hardware evolutivo (EHW), en particular, es una metodología que combina hardware reconfigurable con algoritmos evolucionarios con el propósito de adaptar un sistema a cambios en el ambiente o proveer recuperación de fallas. El diseñador establece los objetivos de performance y el algoritmo genético (AG) [1] busca las posibles configuraciones para alcanzarlos [2, 3].

En este trabajo, se aborda el problema de proveer tolerancia a fallas a un filtro pasabajo de octavo orden, el cual tiene la capacidad de adaptarse a cambios (en el medio ambiente de operación o en sus propios parámetros) que puedan motivar un apartamiento de las características deseadas del mismo. El filtro bajo estudio se implementa a través de la conexión en cascada de cuatro filtros bicuadráticos en ispPAC10 de Lattice Semiconductor [4]. Para poder establecer si es necesaria la reconfiguración del filtro se requiere de un sistema de test. En nuestro caso, se utiliza el Método de Análisis Transitorio [5], el cual puede aplicarse a secciones de segundo orden. Si se detecta que el sistema no cumple con las especificaciones, el AG determina las posibles soluciones y asigna un nuevo valor para cada uno de los parámetros configurables del filtro.

2. Descripción del Sistema

ispPAC10 es un dispositivo analógico programable de Lattice Semiconductor. La Figura 1 muestra el diagrama de bloques del mismo. Como puede apreciarse, ispPAC10 presenta cuatro celdas analógicas, cada una de las cuales está compuesta por un amplificador operacional (OA), una resistencia y un capacitor en el lazo de realimentación, y dos amplificadores de entrada (IA) que se conectan al amplificador operacional a través de resistencias.

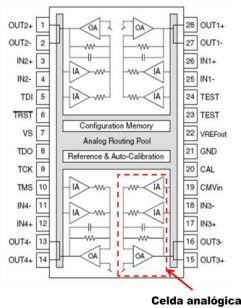


Figura 1. Diagrama de bloques de ispPAC10.

En la figura también puede observarse una zona sombreada, que representa los recursos de interconexión internos que permiten programar conexiones entre las celdas. Existen, además, un sistema de referencia y auto calibración, y una memoria.

La resistencia en el lazo de realimentación tiene un valor fijo y sólo puede conectarse o desconectarse. Sin embargo, el capacitor que tiene en paralelo, puede adoptar 128 valores posibles (desde 1.07E-12 hasta 61.59E-12), es decir, es programable. Por otro lado, los IA pueden ser programados desde ganancia -10 a +10 en pasos de 1. Las resistencias que conectan a los IA con el OA son fijas.

El diseño del sistema analógico propuesto se realizó utilizando Pac Designer [6], el cual permite conectar y desconectar los recursos entre sí, además de poder establecer el valor correspondiente para aquellos que son programables. Por medio de esta herramienta, se diseñó un filtro Butterworth pasabajo de orden ocho, con ganancia en continua igual a la unidad. La característica de este filtro se eligió a título de ejemplo y es el diseño de partida para el filtro que posteriormente se evolucionará en campo. El filtro se implementa mediante la conexión en cascada de cuatro secciones bicuadráticas. Este tipo de secciones puede sintetizarse con una gran cantidad de configuraciones basadas en OA; por lo que existen numerosos circuitos con los que puede obtenerse una función de transferencia bicuadrática. En cada chip ispPAC10 pueden implementarse hasta dos secciones bicuadráticas. Por este motivo, fue necesario utilizar dos chips.

La Figura 2 muestra las características del filtro diseñado, que corresponden a las llamadas respuestas nominales del filtro, las cuales deben mantenerse (dentro de ciertos parámetros de tolerancia establecidos), durante la operación en campo.

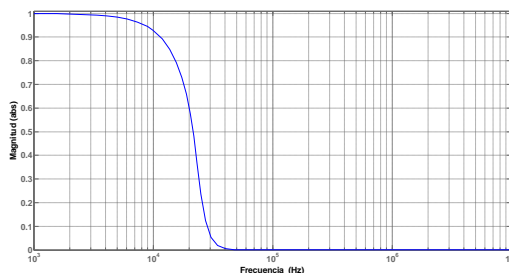


Figura 2. Respuesta en magnitud del filtro diseñado.

3. Test del filtro diseñado

Para efectuar el test del filtro diseñado, se utilizó el método de análisis transitorio. Este método de test puede aplicarse a secciones de segundo orden, lo cual no impide su uso en nuestro caso, ya

que como se mencionó anteriormente, el filtro diseñado está naturalmente particionado en secciones de segundo orden. Mediante el análisis de la respuesta transitoria, se pueden obtener los coeficientes de la ecuación del filtro bicuadrático diseñado. En la Figura 3 se muestran los parámetros de la respuesta transitoria.

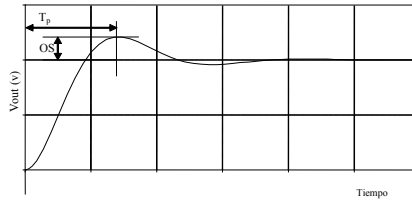


Figura 3. Parámetros de la respuesta transitoria.

Las fórmulas que permiten obtener los parámetros de interés para nuestro caso, son:

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

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

En (1) y (2), T_p es el tiempo de ocurrencia del pico, OS es la sobre elongación o sobre pico, ω_n la frecuencia natural no amortiguada y ζ el amortiguamiento. Usando estas ecuaciones y obteniendo mediante medición los valores de T_p y OS, pueden obtenerse los valores de ζ y ω_n . Por otro lado, midiendo la tensión de salida cuando la señal ya es estable, puede obtenerse el valor de ganancia. Es decir, puede reconstruirse la ecuación de transferencia de cada etapa, y teniendo éstas, entonces, se puede obtener la función total. Esta función debe ser comparada con la función nominal (que surgió en los cálculos de diseño), con el propósito de poder calcular el error entre ambas, para determinar si es necesaria la invocación del proceso de reconfiguración.

4. Funcionalidad del AG

El AG es una técnica de búsqueda y optimización basada en los principios de la genética y la selección natural. Este algoritmo permite que una población formada por una cierta cantidad de individuos evolucione de acuerdo a las reglas especificadas, con el propósito de maximizar una función objetivo (fitness). Los fundamentos y detalles del AG pueden encontrarse en [1, 7-9].

En nuestro caso, el AG debe encontrar los valores de ganancia (k_i) de los IA y los valores (c_i) de los capacitores correspondientes a cada filtro bicuadrático, con el objetivo de mantener la respuesta del filtro dentro de las especificaciones.

Analizando la curva que representa la respuesta en Magnitud del filtro nominal (Fig. 2. b), se seleccionaron cinco puntos en los que el AG debe evaluar la función de transferencia de cada individuo (posibles valores de k_i y c_i que determinan un diseño de filtro) y compararla con la respuesta del filtro nominal para luego efectuar la asignación del valor de aptitud. La figura 4 muestra la distribución de los mismos.

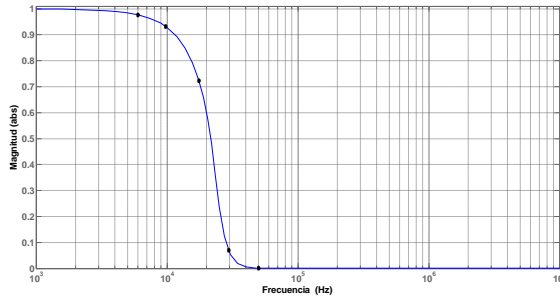


Figura 4. Ubicación de los puntos con los que el AG realiza la evaluación.

Como puede apreciarse en la figura, se consideraron cinco puntos: dos de ellos corresponden a la banda de paso, uno para el punto de corte y dos puntos para la banda de atenuación. En cada uno de ellos y para cada individuo, el algoritmo determina:

1. **Error relativo en magnitud:** representa el error en magnitud con el que el individuo se acerca al filtro nominal en un punto P determinado.

$$\text{ErrorRelativoMag}(P) = \text{abs} \left[\frac{(\text{MagnitIndividuo}(P) - \text{MagnitNominal}(P))}{\text{MagnitNominal}(P)} \right] \quad (3)$$

2. **Error relativo en frecuencia:** representa el error en frecuencia con el que el individuo se acerca al filtro nominal para un punto P determinado.

$$\text{ErrorRelativoFrec}(P) = \text{abs} \left[\frac{(\text{FrecIndividuo}(P) - \text{FrecNominal}(P))}{\text{FrecNominal}(P)} \right] \quad (4)$$

El AG debe encontrar un individuo, cuyos errores en magnitud y en frecuencia, satisfagan determinados criterios de performance en cada uno de los puntos considerados. La función fitness que permite asignarle un valor de aptitud a cada individuo se elaboró considerando:

- Los errores relativos máximos en magnitud y en frecuencia obtenidos de la evaluación de los puntos correspondientes a la banda de paso (EMMBP y EMFBP).
- El error relativo en magnitud y en frecuencia obtenido en el punto de corte (EMPC y EFPC).
- Los errores relativos máximos en magnitud y en frecuencia obtenidos de la evaluación de los puntos correspondientes a la banda de atenuación (EMMBA y EMFBA).

La función fitness (fit) utilizada para cada individuo (y), se construyó utilizando el Método de los Pesos [9,10], el cual permite su formulación a través de una suma ponderada:

$$\text{fit}(y) = B - [w_{BP} \cdot (\text{EMMBP}(y) + \text{EMFBP}(y)) + w_{PC} \cdot (\text{EMPC}(y) + \text{EFPC}(y)) + w_{BA} \cdot (\text{EMMBA}(y) + \text{EMFBA}(y))] \quad (5)$$

donde, B es una constante agregada para evitar números negativos en la función. Los valores de w_i se denominan pesos, y representan el grado de importancia concedido al error en cada banda. En nuestro caso: $w_{BP}=0.46$; $w_{PC}=0.46$ y $w_{BA}=0.08$.

Además, el AG fue implementado utilizando codificación real, por lo que debieron utilizarse estrategias de cruce y de mutación apropiadas para este tipo de codificación. Se utilizó el método Simplex Crossover (SPX) y el Método de Mutación Aleatorio Uniforme respectivamente [6].

5. Resultados experimentales

5.1. Operación libre de fallas

El AG fue implementado utilizando como parámetros, una población inicial de 200 individuos, probabilidad de cruce de 1 y probabilidad de mutación de 0.05. El algoritmo se detiene cuando alcanza 500 generaciones, o bien, cuando encuentra una solución que cumple con el siguiente criterio de performance: error en Banda de Paso $\leq 20\%$, error en Punto de Corte $\leq 10\%$ y error en Banda de Atenuación $\leq 40\%$.

Se efectuaron 50 corridas del algoritmo con los parámetros propuestos. Como el AG realiza un proceso estocástico, los resultados pueden cambiar de acuerdo a la distribución estadística de la población inicial. Para poder observar como los resultados pueden ser afectados por el seteo de la población inicial, hemos cambiado la semilla en la generación aleatoria de cada corrida, y consideramos que todos los valores que pueden adoptar los capacitares y IA están disponibles. La Tabla 1 muestra la mediana y el máximo correspondientes a la cantidad de generaciones bajo la cuales el algoritmo converge y el tiempo de ejecución.

Tabla 1. Cantidad de generaciones y tiempos de ejecución.

Mediana de cant. Generaciones	Máxima cant. Generaciones	Mediana de Tiempo (s)	Máximo Tiempo (s)
33,5	73	299,77	624,27

Para poder completar la evaluación de la performance del algoritmo propuesto, es importante analizar también, el error relativo del mismo en cada una de las bandas. La Tabla 2 muestra la caracterización del error relativo en frecuencia para la Banda de Paso, el Punto de Corte y la Banda de Atenuación. Como puede apreciarse, en todos los casos, el AG converge encontrando soluciones que cumplen con los criterios de performance establecidos.

Tabla 2. Caracterización del error relativo en frecuencia.

Error Banda de Paso			Error Punto de Corte			Error Banda de Atenuación		
Mediana	Mínimo	Máximo	Mediana	Mínimo	Máximo	Mediana	Mínimo	Máximo
10,71%	1,04%	19,33%	4,18%	0,12%	7,09%	23,82%	6,62%	37,94%

La Figura 5 muestra la respuesta en magnitud correspondiente al Filtro Nominal (trazo azul) y al mejor y peor diseño (trazos verde y rojo respectivamente) obtenidos a partir del AG.

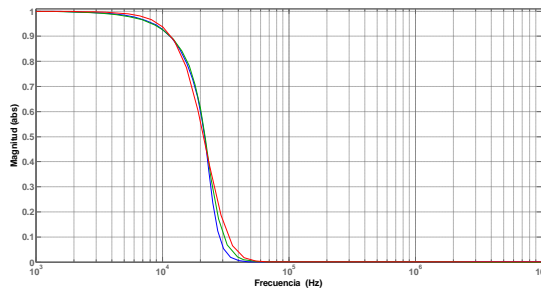


Figura 5. Respuesta en magnitud en condiciones normales.

5.2. Operación con Fallas

La performance del esquema tolerante a fallas presentado, se evaluó a través de la inyección de fallas paramétricas. Este tipo de falla considera desviaciones en los valores nominales de los capacitores de dos de los filtros bicuadráticos (de -50% a +50% en pasos de 10%). La Tabla 3 resume los resultados obtenidos en cuanto a cantidad de generaciones de convergencia y tiempos de ejecución. Comparando estos resultados con los obtenidos bajo condiciones normales (Tabla 1), puede observarse que la mediana y el máximo correspondientes a la cantidad de generaciones aumentan, lo cual provoca un incremento en los tiempos de ejecución.

Tabla 3. Cantidad de generaciones y tiempos de ejecución para operación con falla.

Mediana de cant. Generaciones	Máxima cant. Generaciones	Mediana de Tiempo (s)	Máximo Tiempo (s)
48,5	202	427,29	1779,62

Para completar la evaluación del sistema propuesto, en la Tabla 4 se visualizan los errores relativos en frecuencia correspondientes a la Banda de Paso, Punto de Corte y Banda de Atenuación. Con respecto a la operación normal (Tabla 2), puede apreciarse un incremento en el error mínimo cuando hay fallas, lo que provoca una disminución en el rango de error para la Banda de Paso y la Banda de Atenuación, debido a que en estos casos el error máximo disminuye levemente con respecto a la operación normal. Con respecto a la mediana del error relativo, observamos que aumenta levemente en la Banda de Paso, mientras que en el Punto de Corte y en la Banda de Atenuación disminuye.

Tabla 4. Caracterización del error relativo en frecuencia para operación normal y con falla.

Error Banda de Paso			Error Punto de Corte			Error Banda de Atenuación		
Mediana	Mínimo	Máximo	Mediana	Mínimo	Máximo	Mediana	Mínimo	Máximo
12,24%	6,16%	18,98%	3,27%	0,44%	9,25%	23,52%	13,33%	37,23%

No obstante, como puede apreciarse en la tabla, todas las soluciones encontradas por el AG bajo condiciones de falla, siguen respetando los parámetros de performance establecidos.

6. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado un filtro de alto orden basado en dispositivos programables, con características de tolerancia a fallas a través de hardware evolutivo. Para determinar la necesidad de reconfiguración del filtro se utilizó el método de análisis transitorio. El AG que busca los valores de reconfiguración es robusto para las fallas consideradas en nuestra evaluación. Los resultados de las simulaciones realizadas muestran que el filtro es capaz de mantener su funcionalidad bajo la presencia de fallas.

REFERENCIAS

- [1] D. Goldberg, *“Genetic Algorithm. Search, optimization and machine learning”*, Addison-Wesley, 1989.
- [2] R. Salem Zebulum, M. Pacheco, and M. Vellasco, *“Evolutionary electronics: automatic design of electronic circuits and systems by genetic algorithms”*, CRC Press, 2002.
- [3] Q. Ji, Y. Wang, M. Xie, and J. Cui, *“Research on fault-tolerance of analog circuits based on evolvable hardware”*, in Proceedings 7th international conference on Evolvable systems: from biology to hardware, pp. 100-108, 2007.
- [4] *Designing Higher-order Filters*, Lattice Semiconductor Corporation, 2002.
- [5] J. Calvano, V. Alves, and M. Lubaszewski, *“Fault detection methodology for second order filters using compact test vectors transient analysis”*, 3rd. International Workshop on Design of Mixed-Mode Integrated Circuits and Applications, 18-24, 1999.
- [6] *Pac-Designer Software User Manual*, Lattice Semiconductor Corporation, 2011.
- [7] C. Reeves, and J. Rowe, *“Genetic algorithms: principles and perspective. A guide to GA theory”*, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [8] R. Salem Zebulum, M. Pacheco, and M. Vellasco, *“Evolutionary electronics: automatic design of electronic circuits and systems by genetic algorithms”*, CRC Press, 2002.
- [9] El-Ghazali Talbi, *“Metaheuristics From Design to Implementation”*, Wiley, 2009.
- [10] X. Yu, M. Gen, *“Introduction to Evolutionary Algorithms”*, Springer 2010.

SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y VISUALIZACIÓN DE PARÁMETROS BRINDADOS POR MÓDULO GPS

Perassi, Matías¹; Barbero, Mauro²; Secretat, Nicolás³; Peretti, Gastón⁴

¹ *Alumno Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco, Córdoba.
matiasperassi@gmail.com*

² *Alumno Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco, Córdoba.
mauro18_22@hotmail.com*

³ *Alumno Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco, Córdoba.
nicosecrestat@gmail.com*

⁴ *Tutor de grupo de I+D Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco,
Córdoba.
gastonperetti@gmail.com*

Resumen

Debido a la amplia necesidad de integrar conocimientos y dar un primer paso en sistemas de control de posicionamiento, se decide desarrollar una pequeña plataforma de adquisición y visualización de datos transmitidos por un módulo GPS (Global Positioning System) a través de un display LCD. El objetivo del trabajo estuvo centrado en adquirir conocimientos y habilidades en la manipulación y programación de estos módulos de posicionamiento utilizando diversos modos de funcionamiento con fines didácticos y facilitando a los estudiantes el aprendizaje del manejo de estos dispositivos.

Introducción

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de localización, diseñado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con fines militares para proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad y tiempo. Operativo desde 1995, utiliza conjuntamente una red de ordenadores y una constelación de 24 satélites para determinar por triangulación la ubicación de cualquier objeto en la superficie terrestre [1]. Hoy en día existen módulos de posicionamiento global (GPS) muy pequeños [2] que trabajando en conjunto con un microcontrolador nos permiten obtener una gran cantidad de información, como altitud, posición (latitud y longitud), velocidad, fecha, hora, etc., la cual pueden ser de utilidad para desarrollar una gran número de aplicaciones.

Por todo ello y con fines didácticos, se ha en construido un sistema donde el usuario puede:

- Conocer los datos aportados por el módulo GPS
- Seleccionar distintos modos de funcionamiento
- Analizar los tiempos de comunicación con los satélites
- Evaluar las velocidades de transmisión de datos entre el GPS y el microcontrolador
- Conocer parámetros importantes a la hora de desarrollar un sistema de mayor envergadura.

Dispositivo y métodos

El sistema de adquisición y visualización de parámetros brindados por el módulo GPS permite seleccionar, clasificar y administrar la información recibida desde el GPS para luego mostrarla en un display LCD.

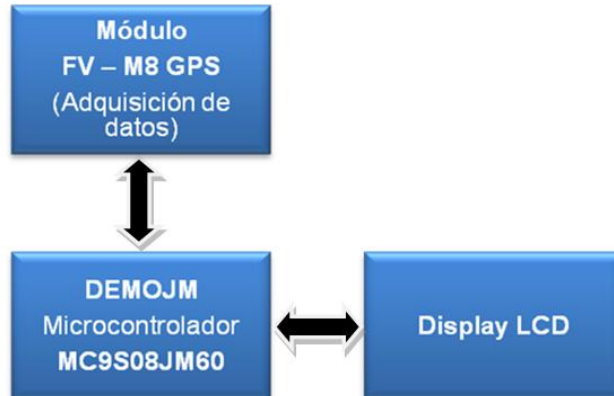


Figura 1. Diagrama general en bloques del sistema de adquisición y visualización de parámetros brindados por módulo GPS

En este proyecto se optó por utilizar una placa de desarrollo DEMOJM de la firma Freescale, que posee un microcontrolador de 8 bits MC9S08JM60 [5], el cual se comunica con el módulo FV-M8 GPS con antena integrada de la firma SANAV utilizando un modo de comunicación asíncrono y envía los datos procesados al display LCD. La información brindada por el GPS está codificada según el protocolo NMEA V3.01, un estándar de comunicación utilizado para este tipo de aplicaciones. Este protocolo ofrece la información en forma de sentencias o mensajes donde los datos en caracteres ASCII [3][4] vienen claramente separados, lo que permite la identificación de los mismos simplemente contando el número de comas dentro de la trama del mensaje. Así se logra aislar el dato deseado y se le asigna un formato determinado que haga posible su visualización externa.

De acuerdo a la configuración establecida sobre el módulo GPS, el mismo comenzará a enviar datos una vez que logre la conexión con los satélites del sistema de posicionamiento global. Estos datos llegarán en forma de sentencias, como se detalló anteriormente, con una frecuencia de actualización de hasta cinco veces por segundo. De los siete modos de trabajo en los que puede operar el GPS, en éste sistema es posible seleccionar cuatro de ellos, que fueron previamente elegidos ya que contienen los datos más representativos que podrían ser utilizados en un proyecto de mayor complejidad.

Implementación del sistema

El microcontrolador MC9S08JM60 se conecta al módulo GPS a través de los pines de comunicación serial. Por otro lado, el microcontrolador envía los caracteres ASCII al display LCD en un formato de 8 bits, además de utilizar los pines Enable (E), Read/Write (R/W) y Register Select (RS) para la sincronización con el mismo.

Además se incluyó una batería de respaldo que sigue proporcionando energía al módulo GPS una vez que la fuente principal ha sido desconectada. Esto permite una inicialización más rápida del módulo, ya que tiene almacenada la última información de los satélites que se encontraban activos en la zona. El voltaje de esta batería debe estar comprendido entre 2.0 V y 5.0 V.

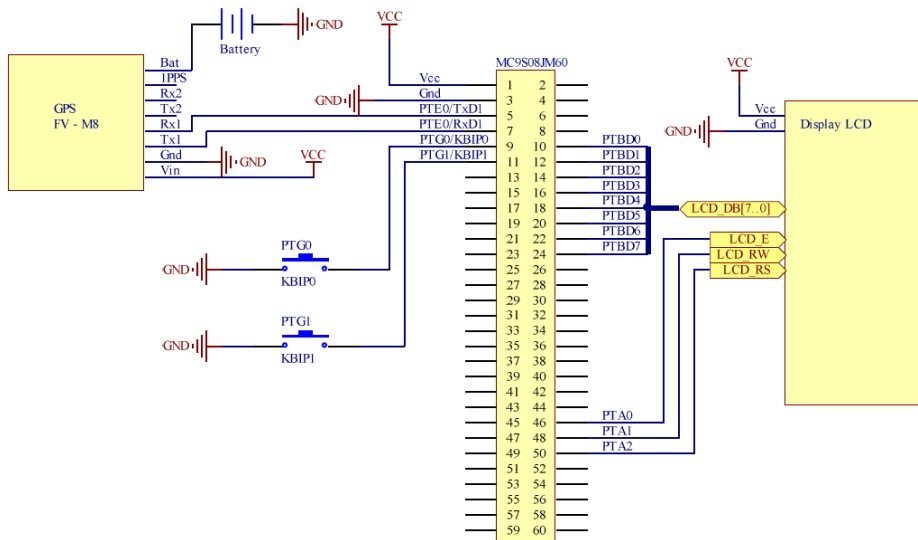


Figura 2. Esquema eléctrico completo del sistema de adquisición y visualización de parámetros brindados por módulo GPS

En el diagrama de la Figura 2 se pueden ver dos pulsadores. Uno de ellos permite acceder a las diferentes configuraciones y seleccionar los tipos de información que nos brinda el módulo. Con el otro pulsador es posible elegir la frecuencia de actualización de los datos, navegando con el mismo a través de las distintas opciones: desde una hasta cinco actualizaciones por segundo.

Destacando nuevamente que este proyecto ha sido desarrollado con fines didácticos, se ha optado por no construir el circuito impreso del sistema, sino que se lo ha montado sobre una placa de desarrollo DEMOJM de la firma Freescale (Figura3) utilizada en distintas asignaturas de la carrera.

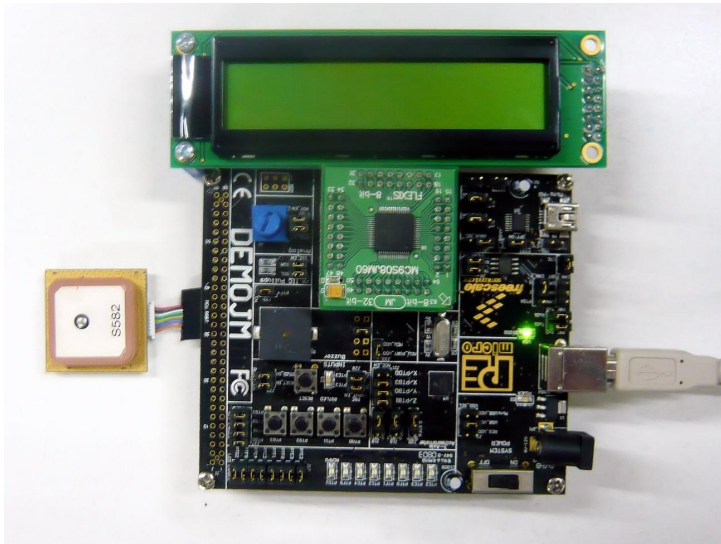


Figura 3. Sistema de adquisición y visualización de parámetros brindados por módulo GPS montado sobre placa de desarrollo DEMOJM.

Resultados

Para determinar el buen funcionamiento del sistema, se ha realizado un recorrido en automóvil por la ciudad de San Francisco y la zona, contrastando los resultados brindados por el módulo FV-M8 con los datos obtenidos a partir del navegador GPS Garmin nüvi 1300. Durante la evaluación se tomaron en cuenta parámetros tales como:

- Hora UTC: hora, minutos y segundos
- Latitud
- Longitud
- Altitud sobre el nivel del mar
- Velocidad
- Cantidad de Satélites conectados

Comparando cada uno de los valores entregados por el receptor GPS Garmin nüvi 1300 con los datos proporcionados por el sistema de adquisición y visualización de parámetros brindados por módulo GPS de la firma Sanav, se ha notado que prácticamente no presentan grandes diferencias cuando la frecuencia de actualización es baja. Pero a medida que la frecuencia de refresco va aumentando hasta llegar al máximo de 5Hz, el error se va haciendo más considerable.

Otro punto a tener en cuenta es que el tiempo de sincronización del módulo GPS con los satélites es significativamente menor cuando se encuentra alimentado por la batería de Backup a través del

pin 8, ya que durante la inicialización recupera la posición de los satélites que había almacenado antes de la desconexión de la alimentación principal en los pines 1 y 2, como se ha expuesto anteriormente.

Conclusiones

Se ha conseguido implementar un sistema de adquisición y visualización de datos que de manera sencilla define las conexiones e interacciones necesarias a la hora de manipular un módulo GPS. Los resultados obtenidos de la implementación del sistema fueron totalmente satisfactorios ya que el mismo presentaría un nivel precisión relativamente alto comparado con un navegador GPS comercial, como el utilizado durante la evaluación.

Por lo anterior se concluye que la construcción del sistema nos habría permitido conocer los diversos datos brindados por el módulo GPS en los distintos modos de funcionamiento, analizar los tiempos necesarios para la comunicación, evaluar la frecuencia de muestreo más adecuada, entre otros, utilizando los métodos de programación y los conocimientos adquiridos en las asignaturas de la carrera.

Referencias

- [1] A. Pozo-Ruz-Universidad de Málaga, Sistema de posicionamiento global (GPS): descripción, Análisis de errores, aplicaciones y futuro. Disponible en: <http://www.iai.csic.es/users/gpa/postscript>
- [2] Guía de Usuario de módulo MTK-3301- GPS modelo FV-M8. Disponible en: <http://www.sanav.com>
- [3] Glenn Baddeley - Global Positioning System, GPS - NMEA sentence information. Disponible en: <http://aprs.gids.nl/nmea>
- [4] Guía de Usuario de protocolo de paquetes MTK- NMEA. Disponible en: http://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/MTK%20Packet_User%20Manual.pdf
- [5] Manual de microcontrolador de 8bits MC9S08JM60 de la firma Freescale. Disponible en: www.freescale.com/files/.../doc/data_sheet/MC9S08JM60.pdf

Tecnología de voz sobre IP aplicada a la integración de plataformas de telefonía en instituciones académicas públicas de Argentina

Mariano Javier Martín (marianojm@unvm.edu.ar)
Universidad Nacional de Villa María, Entre Ríos 1341, Villa María, Argentina

Resumen: Las plataformas de telefonía existentes en las instituciones académicas públicas de Argentina emplean una amplia variedad de tecnologías. En la mayoría de los casos dichas tecnologías son no convergentes hacia las TICs. Dado el actual escenario tecnológico se hace necesario revertir esta situación. El uso de tecnologías convencionales dificulta la integración entre las diferentes plataformas de telefonía. Gracias a la amplia colaboración entre los equipos técnicos de las instituciones participantes se pudo lograr la implementación de un proyecto que tiene como objetivo simplificar y mejorar las comunicaciones entre los diferentes actores que integran la comunidad académica nacional. Esto se consigue a través de un servicio de encaminamiento de llamadas en base a prefijos de marcado predefinidos por cada institución. Los beneficiarios del proyecto son alumnos, docentes, investigadores y personal administrativo. Para ello se definió una arquitectura de red basada en el protocolo SIP (Session Initiation Protocol) con la presencia de un servidor Proxy SIP central situado en el Datacenter de RIU (Red de Interconexión Universitaria) y varios servidores remotos en las instituciones miembros actuando como agentes de usuario de tipo back-to-back. (B2BUA) y la implementación de la seguridad se hizo a través de una red privada virtual basada en OpenVPN

1 Introducción

Este proyecto surge en respuesta a la problemática generada por la telefonía convencional. El objetivo del mismo es integrar las diferentes plataformas de telefonía existentes en las instituciones académicas públicas de Argentina empleando para ello la tecnología de voz sobre IP (VoIP) y protocolos de comunicación abiertos y escalables. Esto permite contar con un servicio de comunicación unificado, reducción de costos y mejoras en la calidad de la comunicación; aportes de los cuales está exenta la red actual por sus limitaciones. Se propone como mecanismo de control de llamada, la utilización de SIP (Session Initiation Protocol).

El eje del proyecto está basado en la estructura de un servidor Proxy SIP que utiliza el software OpenSER Kamailio y Asterisk, con un mecanismo de marcación que emplea un prefijo de identificación de la institución antepuesto al número de extensión. Ello, en virtud de facilitar el acceso a través de teléfonos convencionales que cuentan solamente con doce (12) teclas. Para su despliegue se utilizará la infraestructura de la Red de Interconexión Universitaria. Se consideró como solución de seguridad el uso de una red privada virtual basada en OpenVPN. Se emplea un mecanismo de calidad de servicio (QoS) para asegurar los niveles de latencia, jitter y pérdida de paquetes óptimos para VoIP. Se implementaron herramientas de monitoreo y administración del sistema, como así también un mecanismo para establecer teleconferencias administradas y moderadas a través de la Web basado en el proyecto AppKonference para Asterisk.

2 Área de Cobertura de los servicios y topología de la red

El sistema universitario público argentino está conformado por: cuarenta y seis (46) Universidades Nacionales y siete (7) Institutos Universitarios Estatales. Según estadísticas del año 2009 se cuenta con un total aproximado de 1.300.000 alumnos y la planta de personal supera los 160.000 entre docentes, autoridades y administrativos.

La ARIU (Asociación Redes de Interconexión Universitaria) es un esfuerzo conjunto de las universidades nacionales e institutos universitarios integrantes del CIN (Consejo Interuniversitario Nacional) con el propósito de llevar adelante la gestión de redes para facilitar la comunicación informática a nivel nacional e internacional de estas instituciones, promoviendo la investigación informática, tecnológica, educativa y el desarrollo cultural en el área de las tecnologías de información y comunicaciones (TIC).

Actualmente la RIU entrega el servicio de acceso de Internet a sus miembros y sus costos son financiados por las instituciones asociadas y el Ministerio de Educación de la Nación. La topología

de la red es de malla completa (full-mesh) con un sitio central en dependencias del Data Center de Telecom Argentina. Allí se encuentra instalado un router con administración de la RIU y conexión a la Internet mediante Telecom Argentina y conexión a Redes Avanzadas Internacionales a través de InnoVaRed y CLARA (Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas).

2 Protocolo de señalización

2.1 Elección del Protocolo de señalización.

SIP (Session Initiation Protocol), surge en principio como un protocolo sencillo a la hora de su definición, pero complicado desde el punto de vista del despliegue, por lo cual es necesario tener en cuenta sus aspectos esenciales. SIP es un estándar de la IETF (Internet Engineering Task Force) y su RFC (Request for comments) es el número 3261. Debido a que SIP es un protocolo simple en su constitución, requiere menos código en su implementación lo cual reduce los requerimientos de procesamiento y memoria de los equipos involucrados. Con SIP es posible procesar más llamadas para una determinada capacidad del sistema o emplear menor capacidad del sistema para un determinado número de llamadas procesadas. Esto permite reducir costos en cuanto al desarrollo de aplicaciones de usuario y también de los equipos a emplear por parte de los operadores de servicios de VoIP. Además, SIP contempla funciones diseñadas específicamente para su ampliación, permitiendo realizarla de manera más simple que con otros protocolos.

2.2 Características del Protocolo SIP.

SIP es un protocolo de capa de aplicación, cuyo diseño permite una fácil implementación y una buena escalabilidad y flexibilidad. El inicio de la sesión, cambio o término de la misma, son independientes del tipo de medio o aplicación que establece la llamada; una sesión puede incluir varios tipos de datos, incluyendo audio, video en diversos formatos.

SIP se complementa con otros protocolos tales como SDP (Session Description Protocol) y RTP/RTCP (Real Time Protocol) para completar la comunicación. RTP/RTCP se emplea para transportar los datos multimedia en tiempo real mientras que SDP se utiliza para describir las características de los participantes de la sesión multimedia. Es un protocolo orientado a conexiones End-to-End. Toda lógica se encuentra almacenada en los dispositivos finales (salvo el ruteo de mensajes).

3 Arquitectura de la Red VoIP

Se buscó definir la arquitectura de red en función de minimizar el impacto de costos y recursos humanos destinados a poner el proyecto en marcha; También fueron relevantes otros aspectos como la elección del software a utilizar. En todo momento se buscó una solución abierta y escalable. En este sentido se consideró que una solución basada en OpenSER (Sip Express Router) y Asterisk era la más apropiada.

Como solución a la problemática de SIP detrás de NAT (Network Address Translation), se definió el empleo de un Servidor Proxy SIP Central y varios Servidores B2BUA distribuidos. Las aplicaciones “back-end user” pueden actuar como punto intermedio (“middle man”) para los mensajes SIP, para el audio vía RTP, o ambos a la vez. Cada UA entonces dialogará con este punto intermedio (“middle man”) y nada conocerá del UA remoto. Los servidores que corren este tipo de aplicaciones reciben el nombre de “B2BUA”. Teniendo en cuenta esto, se plantea como arquitectura de nuestra red la existencia de un único servidor proxy SIP ubicado en el nodo central o Data Center de RIU, el cual dispondrá en su configuración de las rutas adecuadas basadas en prefijos predefinidos a los fines de poder redireccionar la señalización SIP hacia los destinos que correspondan en las diferentes instituciones y por otro lado la existencia en cada lugar remoto de su propio servidor actuando como B2BUA.

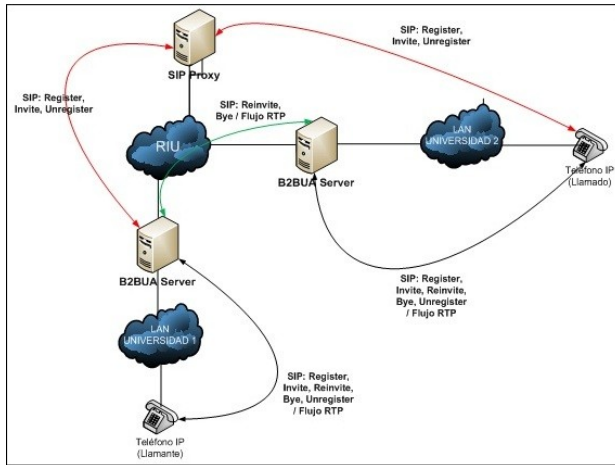


Fig. 1 Arquitectura definida para la Red de Voz sobre IP de ARIU

En la figura 1 se puede apreciar claramente la separación de la comunicación en tres estadios. El primero (negro) es inherente a cada Universidad y está definido libremente de acuerdo a sus propias necesidades. El mismo consiste en establecer la comunicación entre un cliente (UAC) y su servidor B2BUA local. Tendrá también a su cargo la autenticación y el registro de dicho cliente. Este mismo servidor será el encargado de validarse en el proxy SIP de ARIU y encontrará la ruta adecuada que le permitirá llegar al servidor destino de la comunicación en otra

Universidad. Una vez ubicado el servidor destino, se establece otra etapa en la comunicación hacia su propio cliente, el cual es el verdadero destinatario de la llamada. Finalmente se puede ver que existe una etapa intermedia de señalización SIP y flujo de audio RTP entre los servidores locales de cada Universidad donde nada tienen que ver los clientes.

4 Plataformas de telefonía existentes en las instituciones

Este proyecto pretende lograr la integración de las diversas plataformas de telefonía existentes. Para ello fue necesario evaluar los posibles escenarios y definir una estrategia para su integración. Al respecto podemos resumir los siguientes tipos de plataforma disponibles:

- Plataforma de VoIP Centralizada (central telefónica única)
- Plataforma VoIP descentralizada (más de una central telefónica IP)
- Plataforma VoIP con protocolos diferentes a SIP (IAX, SCCP de Cisco, etc)
- Sin plataforma de VoIP o con plataforma mixta (VoIP y telefonía tradicional)

Para todos los casos se buscaron alternativas de inclusión a la red a través del empleo de dispositivos que actúan como puerta de enlace a la red analógica (gateways), la creación de troncales SIP entre servidores, etc.

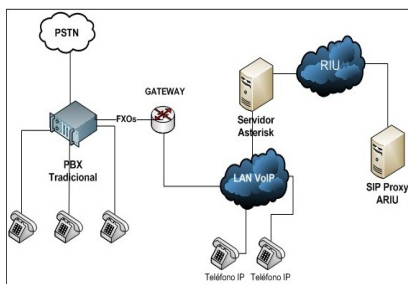


Fig. 2 Ejemplo de plataforma de telefonía mixta (VoIP y telefonía tradicional)



Fig. 3. Tipos de Plataforma de telefonía (30 Universidades Nacionales Relevadas en 2011)

En la figura 3 se muestran los resultados del relevamiento realizado sobre 30 Universidades Nacionales en relación al tipo de plataforma de telefonía utilizada. Las categorías se definen a

continuación con orden creciente en implementación de tecnología VoIP: plataforma de telefonía convencional, plataforma de telefonía convencional con telefonía IP en prueba, plataforma mixta de telefonía convencional / IP y plataforma de telefonía IP exclusivamente.

Existen varios estudios (ver referencias) que determinan que usando tecnología de VoIP a través de Redes Privadas Virtuales (VPN) basadas en Secure Sockets Layers (SSL) es posible mejorar la calidad de la comunicación (medido a través del índice MOS - Mean Opinion Score). La mejora proviene del tipo de encapsulamiento de los paquetes (UDP) sobre IP. Se ha determinado experimentalmente que una VPN basada en SSL no tiene influencia negativa sobre la latencia, la varianza (jitter) y la pérdida de paquetes. Por ejemplo, para el caso de emplear codec G711 y redes VPN comprimidas es posible ganar hasta un 10% de ancho de banda. El códec empleado y las características de la VPN (encapsulado, compresión, etc) influyen en mayor o menor medida en este aspecto.

El empleo de protocolo SRTP para transportar el flujo multimedia encriptado y el uso SIP sobre TLS para la señalización permite establecer otro esquema de seguridad de la red prescindiendo del uso de VPNs basadas en SSL. En el futuro se planea migrar el esquema de seguridad actual a uno que soporte estos los mecanismos anteriores. (A partir de la versión 1.8 de Asterisk se incluye soporte para estos protocolos de manera nativa). Esto permitiría evitar el intercambio de tráfico a través de del nodo central de la VPN ubicado en el Datacenter de ARIU. También contribuirá a disminuir la carga del servidor central.

5 Rutas y Prefijos de Marcado

Debido a las dimensiones de algunas instituciones, la diversidad de tecnologías empleadas y el grado de descentralización de sus instalaciones se decidió dejar librado a la decisión de cada una la conformación de su propia plataforma de voz sobre IP y solamente prestar el servicio básico de ruteo. El objetivo central del proyecto plantea resolver la necesidad básica de los usuarios de acceder desde un terminal de telefonía ubicado en una institución, realizando la marcación del prefijo y el número de extensión correspondiente al destinatario a través de un teclado convencional. En un principio se pensó asignar a cada institución un prefijo basado en la propia característica regional empleada por la telefonía fija y móvil a nivel nacional pero esto además de plantear algún grado de confusión, se hace difícil ya que existen instituciones ubicadas en diferentes regiones o compartiendo su zona geográfica. Por lo tanto se pensó en asignar un prefijo independiente de otro sistema de comunicación ya existente. Se optó en asignar a cada institución un prefijo de 3 dígitos.

5 Servidor Proxy SIP

En el marco del proyecto, se han estudiado las posibles soluciones de código abierto basadas en SER (Sip Express Router). SER es un desarrollo con licencia GNU GPL (Generic Public License). Se trata de una aplicación que implementa un servidor proxy SIP. Su implantación es muy versátil, permitiendo su instalación tanto en sistemas que posean recursos limitados como también en grandes servidores. Está escrito completamente en C y orientado principalmente a equipos Linux/Unix.

La solución elegida está basada en OpenSER Kamailio y consiste en la implementación de un servidor proxy SIP en el nodo central del Data Center de RIU configurado de manera tal que brinde las siguientes funcionalidades: autenticar las llamadas realizadas por los servidores B2BUA de las instituciones, encaminar las llamadas de acuerdo a prefijos de marcado únicos por institución, mantener un registro de llamadas realizadas y obtener los datos necesarios para la autenticación a través de un servidor de base de datos (DB) basado en MySQL.

6 Implementación de Seguridad en la Red de VoIP

Durante el proceso de señalización de la llamada, el protocolo SIP emplea mensajes en texto plano y durante la transmisión de la voz en tiempo real (RTP), se transmiten tramas UDP conteniendo el audio codificado bajo alguna técnica conocida (G711, GSM, G729, etc) pero sin

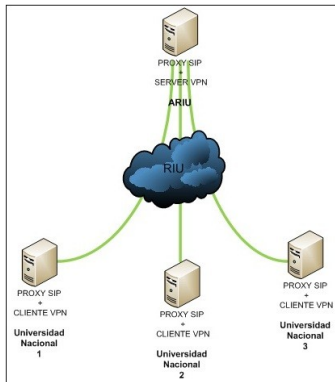


Fig. 3 Esquema de Seguridad de la Red VoIP de ARIU basado en OpenVPN

desarrollado por la Red Nacional de Enseñanza e Investigación de Brasil (R.N.P.) es el que más se aproxima en cuanto a objetivos y arquitectura de red ya que utiliza los mismos elementos de software pero con una dimensión mucho menor.

7.3 Grupo de Trabajo en VoIP de Red Clara

El proyecto de la red Clara, llevado a cabo por el Grupo de Trabajo en VoIP (ClaraTec) tiene en sus objetivos puntos en común con el proyecto RIU, los mismos se refieren a: Elaborar un plano de integración entre las redes que ya operan un servicio de VoIP dentro del ámbito de CLARA; Elaborar una recomendación de plataforma básica para el uso de VoIP integrado con Clara y llevar a cabo capacitación para nivelación de conocimientos en VoIP para preparar las NRENS a integrarse a la red VoIP. Este grupo de trabajo a realizado avances en el estudio de alternativas de software libre disponibles pero aún no posee un grado significativo de avance en cuanto a la implementación definitiva de alguna solución en este aspecto. Aprovechando que ARIU tiene sus representantes ante la Red Clara y más específicamente en lo que respecta al grupo de trabajo en VoIP de ClaraTec sería interesante establecer con ellos un mayor intercambio de experiencias a los fines realizar la convergencia de alguno de nuestros proyectos como se sugiere a través de la figura 8.

8 Estadísticas

En la actualidad la red está integrada por 25 instituciones; 22 Universidades Nacionales, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET), el Consorcio de Sistemas de Información Universitaria (SIU) y el Centro de Operación de la Red de Interconexión Universitaria (NOC de ARIU). Todas ellas aportan al sistema un total aproximado de

encriptación alguna. Atento a este hecho, y considerando que el aseguramiento de dichos protocolos es posible mediante el uso de algunas técnicas específicas, se consideró que la solución más adecuada es el uso de una red privadas virtuales, para lo cual se analizaron diferentes alternativas y se decidió optar por una basada en SSL (Secure Socket Layer) como es OpenVPN. Una VPN basada en SSL garantiza la privacidad e integridad de datos entre las dos partes.

7 Vinculación con otros proyectos: sip.edu y fone@rnp

Existe un proyecto denominado SIP.edu en el ámbito de Internet2. El mismo tiene como objetivo la convergencia las identidades de voz con las identidades de correo electrónico, así como la promoción de los servicios de voz sobre IP que emplean SIP como protocolo dentro del marco de las Universidades. Otro proyecto denominado fone@rnp

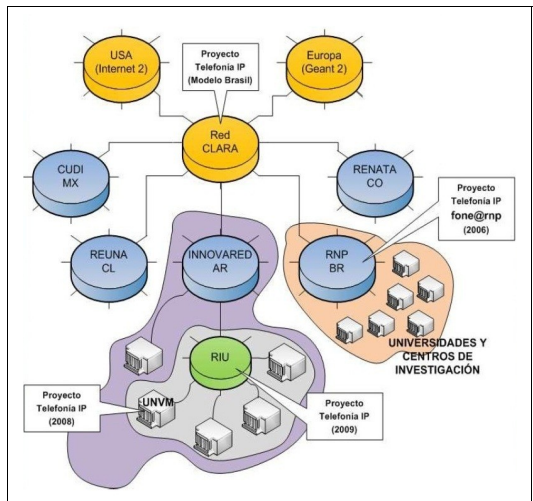


Fig 8. Red de Voz Sobre IP en Redes Avanzadas de Latinoamérica

2800 internos. La evolución en la incorporación de dichas instituciones a lo largo del tiempo se representa en la figura 4. Actualmente, de estas 25 instituciones 15 se conectan a través de los enlaces provistos por la Red de Interconexión Universitaria y 10 a través de otros proveedores de Internet (I.S.P.). (Ver figura 5) El grado de integración de dichas instituciones varía y actualmente se trabaja en cada una de ellas para incorporar la totalidad de sus usuarios cuya cifra asciende a más de diez mil (10000) de acuerdo a relevamientos preliminares. (Ver figura 6)

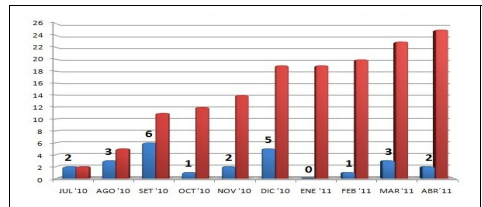


Fig 4. Evolución de las incorporaciones a la red de voz sobre IP de ARIU (Período Julio 2010 – Abril 2011)

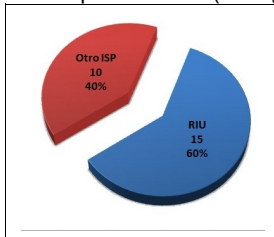


Fig 5. Tipos de enlaces usados en la Red VoIP (A través de RIU o un I.S.P. - Abril 2011)

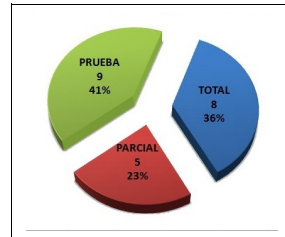


Fig 6. Grado de Integración a la Red de voz sobre IP de ARIU. (Abril 2011)

El ancho de banda de cada enlace de datos que provee la ARIU es de 2 Mbps. Ese ancho de banda se encuentra reservado hasta un 40% (819 Kbps) empleando encolamiento de alta prioridad y baja latencia (LLQ: Low-latency Queuing). Con esto y el empleo de codecs si compresión (G711) es posible establecer hasta 10 comunicaciones simultáneas por institución con elevado índice de calidad. Empleando codec G729A se llega a alcanzar hasta 25 canales de audio simultáneos. Para el caso de comunicaciones que emplean video con una tasa de 384 Kbps (bitrate) la capacidad aproximada es de dos canales de video simultáneos y la calidad depende del codec a emplear (H261/H263/H263+ o H264) y la tasa de fotogramas. (framerate).

9 Conclusiones

Este proyecto ha posibilitado la integración de las diferentes plataformas de telefonía sin imponer restricciones a la propia red de comunicaciones de las instituciones miembros. El éxito del mismo se fundamenta en el trabajo mancomunado de sus equipos técnicos. Los coordinadores de este proyecto han trabajado en la capacitación de los equipos técnicos y la concientización de las autoridades sobre la importancia del tema. El actual escenario tecnológico de las comunicaciones converge cada vez más hacia las TICs. Por lo tanto, para evitar problemas futuros en la gestión de estos recursos, es necesario anticiparse a los cambios con suficiente antelación. Es importante continuar trabajando por la integración de las comunicaciones a fin de contar con una red de telefonía eficiente y sostenible en el tiempo.

10 Referencias

1. Martín, Mariano J., "Servicio de encaminamiento de llamadas VoIP/SIP en UU. NN." (2009), http://www.dirinfo.unvm.edu.ar/archivo/SER_LACNICXII.pdf
2. Voznak, Miroslav, "CESNET Technical Report - Impact of Network Security on Speech Quality", (2008) <http://www.cesnet.cz/doc/techzpravy/2008/impact-of-network-security-on-speech-quality/impact-of-network-security-on-speech-quality.pdf>
3. Gast, Matthew, "Strangely, SSL VPNs can help VoIP call quality" (2006) http://www.oreillynet.com/etel/blog/2006/03/strangely_ssl_vpns_can_help_vo.html
4. Snyder, Joel, "Test shows VoIP call quality can improve with SSL VPN links" <http://www.networkworld.com/reviews/2006/022006-ssl-voip-test.html>

SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA TORRE DE DESTILACIÓN FRACCIONADA

Sebastián José Marengo - Legajo: 5548, Dpto. Ingeniería Electrónica - FRVM

Memoria Descriptiva

El trabajo desarrollado consistió en la implementación de un Sistema de Control automático para una "Torre de Destilación Fraccionada", esta se encuentra en la Planta Piloto de la *Facultad Regional Villa María Universidad Tecnológica Nacional* la cual se encuentra a cargo del Departamento de Ingeniería Química.

Descripción

Para dicha implementación se debió observar detenidamente como los operarios ponían en funcionamiento la columna de destilación, como conclusión se pudo determinar que el proceso de destilación se puede dividir en dos partes:

- Puesta en Marcha
- Operación en Régimen

La puesta en marcha consiste en llenar de agua el re hervidor (re boiler, ver Fig. 1) hasta una medida determinada, luego encender la resistencias calefactoras, una vez que la cabeza de la torre llega a una temperatura determinada se puede ingresar la solución a destilar (agua-etanol comúnmente) la misma puede ser suministrada por 3 vías diferentes dependiendo de la calidad de producto destilado que queremos obtener y energía que queremos consumir en dicho proceso.

Lograr hacer entrar en régimen la columna de la forma en que estaba siendo operada anteriormente era algo engorroso ya que operario tenía que estar controlando en forma continua la temperatura de la parte superior de la torre y en caso que la temperatura varíe, se trata de contrarrestar esta variación en forma manual mediante el accionamiento de un potenciómetro entregando más o menos potencia según lo requiera el sistema, como así también tenía que estar observando continuamente el nivel de líquido de la torre para que esta no se inunde, por lo cual esto fue solucionado con un sensor de nivel que llegado a un determinado nivel este abre una válvula en forma manual y se le retira líquido de la parte inferior. Cabe destacar que el reflujo también fue automatizado, esto consiste en tomar parte del destilado e ingresarlo nuevamente a la columna, esto se hace para conseguir una mejor calidad del destilado.

Diseño

Lo que se hizo fue realizar un *Controlador PID de Temperatura* aplicado a las resistencias ubicadas en el re-hervidor tomando la temperatura de cabeza como variable de control, la cual es seteada en forma manual antes de poner en marchar el sistema, lo mismo va a suceder con el *nivel de alimentación* y la *relación de reflujo* que deberán configurarse antes de ser puesta en marcha la torre de destilación.

Cabe destacar que sistema cuenta con una alarma de nivel de líquido, que en caso de activarse por nivel alto corta la entrada de alimentación y activará la válvula de salida hasta que el nivel del agua llegue a un punto deseado, abriendo nuevamente la

alimentación de la torre. Igualmente al llegar al nivel alto se enciende una luz en el panel de control junto con una alarma sonora, esta alarma es de gran utilidad en caso que falle la válvula de salida. Todo este sistema es comandado por un microcontrolador 18F4550 de Microchip.

Nociones Básicas

Parámetros a Controlar

- Potencia suministrada a las Resistencias calefactores del Re-hervidor (0 - 6000 W) mediante un controlador PID, tomando como variable de control la Temperatura Superior.
- Relación de Reflujo (Tiempo donde se refluja o se destila "R/D").
- Nivel de líquido dentro del Re-hervidor.
- Nivel de Alimentación (A, B o C).

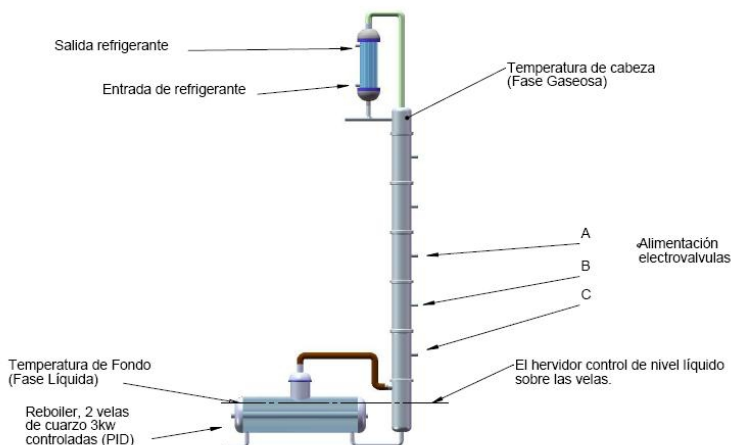
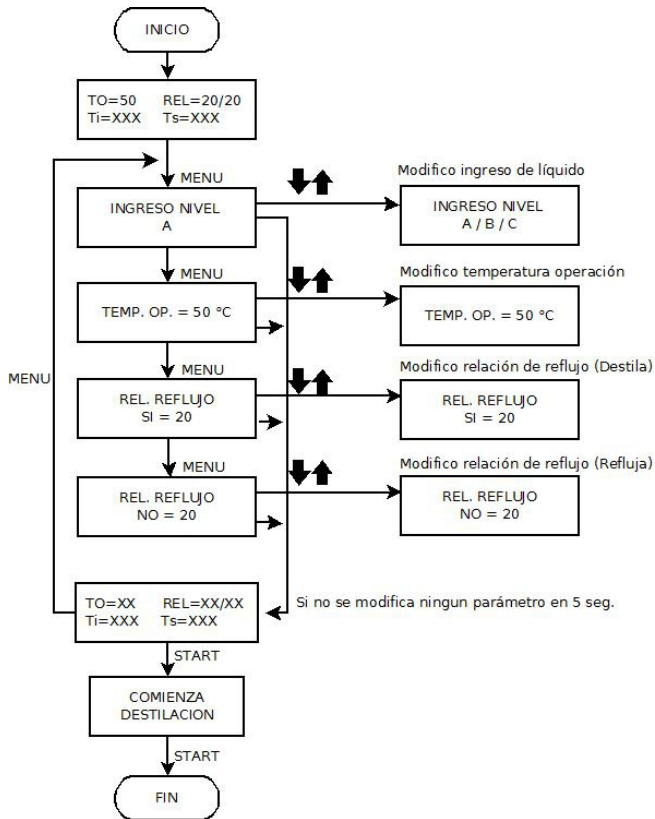


Fig. 1: Esquema de Torre de Destilación Fraccionada

Para lograr una mayor comprensión de cómo programar el equipo se expresa en forma de diagrama de flujo, cabe destacar que los cuadros representan la pantalla LCD y tanto MENU como las flechas los botones de configuración:



Tablero de Comando

- Encendido y Apagado.
- Relación de Reflujo (mostrada en LCD).
- Lecturas de Temperaturas (mostradas en LCD).
- Alarma de nivel de líquido (puede ser sonora y/o lumínica).
- Nivel de Ingreso de alimentación (mostrada en LCD).

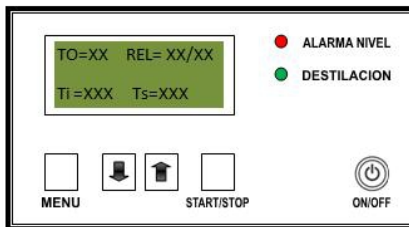


Fig. 2: Panel de Control

Valores ajustados por el usuario

- Temperaturas Operación (TO) la cual va a determinar la potencia aplicada a las resistencias.
- Valor de Reflujo, configurando los segundos de destilación y reflujo.
- Nivel de Alimentación, se elige entre tres servo válvulas (A, B o C).

Controlador PID

Es interesante señalar que más de la mitad de los controladores industriales que se usan hoy en día utilizan esquemas de control PID y si bien estos son analógicos, en la actualidad, muchos de estos se transforman en digitales mediante el uso de procesadores, en este nuestro caso un PIC 18F4450 de Microchip.

Se puede indicar que un controlador PID responde a la siguiente ecuación:

$$u(t) = K_p + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1.0)$$

Donde $e(t)$ es el error y $u(t)$ es la entrada de control de proceso, K_p es la ganancia proporcional, T_i es la constante de tiempo integral y T_d es la constante de tiempo derivativa.

En el dominio de la frecuencia, el controlador PID se puede escribir como:

$$U(s) = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i * s} + T_d * s \right] E(s) \quad (1.1)$$

La obtención de los parámetros K_p , T_i y T_d puede resultar muy engorroso y difícil de ajustar, por lo tanto utilizamos un método práctico para sintonizar nuestro lazo de control PID.

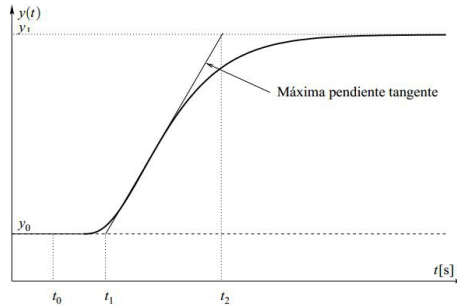
Sintonización de Controlador Mediante Ziegler-Nichols

Para realizar la modelación de este Sistema de Temperatura fue utilizado el "Método de Curva de Reacción de Ziegler-Nichols", este método se resume a ensayar al sistema a lazo abierto con un escalón unitario, a partir de este se calculan algunos parámetros, como la máxima pendiente de la curva y el retardo, y con ellos establecemos las ganancias del controlador PID.

En lazo abierto, muchos procesos pueden definirse según la siguiente función de transferencia:

$$G(s) = \frac{K_o * e^{-s t_o}}{(1 + s y_o)} \quad (1.2)$$

Donde los coeficientes K_o , t_o y y_o se obtienen de la respuesta del sistema en lazo abierto a una entrada escalón. Se parte del sistema estabilizado en $y(t) = y_o$ para $u(t) = u_o$; se aplica una entrada escalón de u_o a u_1 (el salto debe estar entre un 10 y un 20% del valor nominal, en nuestro caso utilizamos 40 Volt) y se registra la respuesta de la salida hasta que se estabilice en el nuestro punto de operación.



Respuesta de salida a una entrada escalón

A partir de esta curva se pueden los siguientes parámetros:

$$\tau_o = t_1 + t_0 \quad Y_o = t_2 + t_1 \quad K_0 = \frac{y_1 + y_0}{u_1 - u_0}$$

Según Ziegler/Nichols, las relaciones de estos coeficientes con los parámetros del controlador son:

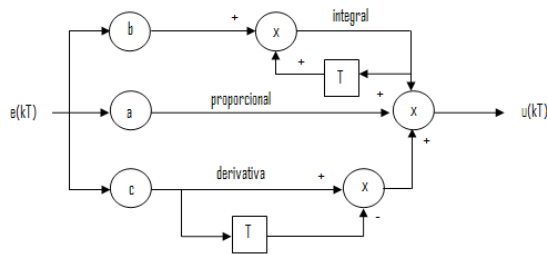
$$K_p = \frac{1,2 * Y_o}{K_0 * \tau_o} \quad T_i = 2 * \tau_o \quad T_d = 0,5 * \tau_o$$

El paso siguiente es discretizar nuestro controlador, para lo cual utilizamos la Transformada Z aplicada a la formula (1.1):

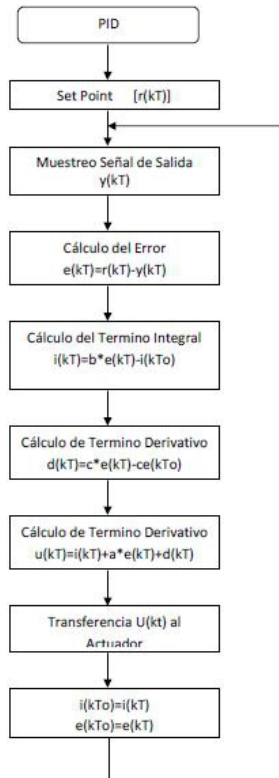
$$U(z) = E(z) K_p \left[1 + \frac{T}{T_i (1 - z^{-1})} + T_d \frac{(1 - z^{-1})}{T} \right] \quad \text{y} \quad \frac{U(z)}{E(z)} = a + \frac{b}{1 - z^{-1}} + c(1 - z^{-1})$$

donde: $a = K_p$ $b = \frac{K_p * T}{T_i}$ $c = \frac{K_p * T_d}{T}$

existen distintas posibilidades de la realización práctica de un controlador PID; una de las más habituales es la realización en paralelo, la cual utilice para el desarrollo del mismo y se detalla en el siguiente gráfico.



El algoritmo utilizado para programar el PIC, el muestreo(T) debe ser mayor al tiempo de establecimiento del sistema en lazo abierto. $T < \tau_0/4$



Bibliografía

- [1] Beijo, Eduardo, *Compilador C y Simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC*, Primera Edición 2008, Alfaomega.
- [2] PIC 18F4550 Data Sheet, Microchip.
- [3] DS 18d20 Data Sheet, Dallas Inc.
- [4] Manual de Usuario de Compilador PCW de CCS.
- [5] Katsuhiko Ogata, *Ingeniería de Control Moderna*, Tercera Edición 1998. Prentice Hall.
- [6] Benjamín C. Kuo, *Sistemas de Control Automáticos*, Séptima Edición 1994. Prentice Hall.
- [7] Norman Nise, *Ingeniería de Sistema de Control*, Cuarta Edición. 2004. Editorial Willey.
- [8] Apunte de Cátedra Electrónica de Potencia, Ing. Ramos C. Oros. 2007.
- [9] Ramón Pallás Areny, *Sensores y Acondicionadores de Señal*, Cuarta Edición 2005. Editorial Marcombo.
- [10] Manual de Usuario de Proteus.

ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA PURIFICACIÓN DE POLÍMEROS EN SISTEMAS DISCONTINUOS Y SEMICONTINUOS MEDIANTE ELECTROFILTRACIÓN

Nicolás Girauo (nicogirauo9@hotmail.com)

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Villa María.

Tutores: Iris Perner-Nochta*, Diego Semprini**

*Bereich III: Bioverfahrenstechnik. Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik. Karlsruher Institut für Technologie;

**Planta piloto de Ingeniería Química. UTN Facultad Regional Villa María.

Resumen

Los procesos de separación involucrados en tratamientos secundarios son fundamentales y representan los costos más altos en los procesos biotecnológicos. El desarrollo de una nueva técnica que consiste en la aplicación de un campo eléctrico externo superpuesto a la filtración final, con membranas en ambos lados de una cámara, presenta un potencial estupendo. En esta nueva técnica llamada electrofiltración el campo eléctrico induce el movimiento de partículas cargadas, hacia el electrodo opuestamente cargado, incrementando la acumulación de material en una torta de filtración en este lado, resultando así en el mejoramiento del flujo de filtración, del otro lado, reduciendo el tiempo de proceso e incrementando la eficiencia. Se estudia el equipamiento y técnicas de electrofiltración, utilizando pectina y xantano como modelos de polisacárido, para las experiencias realizadas en un laboratorio destinado exclusivamente a esta investigación. Se comenzó con la implementación de un sistema discontinuo, y los resultados correspondientes a estos ensayos determinaron la cantidad necesaria de energía para ambos polímeros. Se utilizó, también, un sistema semicontinuo con el cual se extrajo la torta de filtración mediante presión para eliminarla sin necesidad de desmantelar el dispositivo, concluyendo a partir de esto que la velocidad de filtrado solo depende de la limpieza de sus membranas. Por último se buscó determinar un criterio energético para la cantidad de masa óptima filtrable en la cámara en cuestión, llegando a la conclusión de que la energía específica permanece cuasi constante.

Palabras clave: Electrofiltración, Biopolímeros, Bioprocesos.

1 Introducción

Los bioprocesos son muy particulares en determinados aspectos, entre ellos se encuentra la diversidad de productos que se puede obtener de ellos, en la mayoría de los casos partiendo de un solo producto. Mientras que en los procesos de la ingeniería química las soluciones de multicomponentes raramente superan los 50 componentes diferentes, en bioingeniería fácilmente se puede obtener miles de diferentes componentes (Oliveira, 1995). Frecuentemente estos factores desembocan en complejos procesos de purificación para obtener el producto de interés, involucrando más equipamiento y trabajo que el resto del proceso. Como consecuencia directa de ello, las etapas de purificación representan generalmente más del 50-80% del capital total de los costos (Oliveira, 1995; Gözke y Posten, 2010). Otro problema es la pérdida y el envejecimiento del producto, lo que incrementa con el número de etapas de purificación. Una etapa de un proceso de separación ideal combina una alta eficiencia y selectividad, con condiciones de proceso reproducibles (Hofmann et al., 2006). Para esto, con objeto de desarrollar un procedimiento de producción económicamente rentable, es necesario reducir el número de etapas de purificación.

El fraccionamiento mediante membranas es una herramienta prometedora para los procesos en cadena, pero tiene problemas inherentes, como el bloqueo de las mismas y la baja selectividad en la separación de sustancias de estructuras similares. Para resolver dichos problemas, se ha estudiado la superposición de fuerzas a la presión de filtración, que se rige por la ecuación de Darcy (Mc Cabe, 2001), como las un campo eléctrico, combinando una membrana de filtración y electroforesis, en una técnica simple conocida como electrofiltración. (Hoffman y Posten, 2003). Esta técnica puede ser particularmente interesante en el caso específico de biopolímeros en los procesos en cadena, creando una posibilidad atractiva para su aplicación industrial como alternativa a la utilización de solventes para precipitar los polímeros, a la utilización de una filtración de flujo cruzado o a la evaporación térmica. La aplicación de un campo eléctrico externo asistente en la separación de un sistema sólido- líquido ha sido investigado en el pasado, desde el primer trabajo en el área hecho por Beechold (Beechold, 1926).

Con el objetivo de estudiar y caracterizar el proceso, la goma xantano y la pectina se usaron como modelos de compuestos. El xantano está altamente valorizado con aplicaciones en la industria de los alimentos, extracción de petróleo, pinturas y pegamentos, entre otros. Es soluble en agua fría y caliente, desarrolla una viscosidad alta aún a bajas concentraciones, y es estable en un amplio rango de fuerzas iónicas, pH y temperaturas. La pectina tiene la propiedad de formar geles en medio ácido y en presencia de azúcares. Por este motivo, es utilizada en la industria alimentaria en combinación con los azúcares como un agente espesante.

1.1 Electroforesis

Casi todas las partículas de la naturaleza tienen una carga eléctrica inherente. Estas cargas pueden ser usadas para mejorar una separación. Este principio se aplica en electroforesis, la cual se define como el movimiento de partículas cargadas en un líquido conductor o una suspensión coloidal dentro de un campo eléctrico. (Perry y Green, 1999). La carga en las partículas puede alterarse cambiando el pH, la conductividad, la temperatura o la composición de la solución a separar (Khoury, 2005). El rango de movimiento de las partículas es generalmente directamente proporcional a la cantidad de campo aplicado (voltaje).

1.2 Electrofiltración

En electrofiltración, un campo eléctrico se superpone a una filtración estándar, actuando en paralelo a la dirección del flujo hidrodinámico. Cuando la fuerza electroforética invade la fuerza de resistencia hidrodinámica, las partículas cargadas migran lejos del medio de filtrado (la membrana). Cuando la torta de filtrado se forma, el campo eléctrico también promueve un movimiento electro-osmótico a través de la torta, el cual contribuye al flujo de agua a lo largo del medio de filtrado y su desaguado. La fuerza de campo aplicada depende de la conductividad del material de alimentación, la ubicación de los electrodos y su disposición, y del material de los electrodos. La fuerza del campo también depende de las propiedades eléctricas de los materiales. En caso de baja conductividad y bajos valores de potencial zeta, el campo eléctrico puede no mejorar el rendimiento del proceso.

Cabe destacar que los ensayos que se presentarán a continuación, así como también las conclusiones a las que se llegaron, son producto de un período de trabajo conjunto en un laboratorio dedicado a este proceso en el que el autor formó parte durante una beca de estudios de intercambio en Alemania, y es por ello, que este trabajo no detalla ciertas cuestiones, inherentes al acuerdo de confidencialidad pactado con la mencionada institución.

2 Materiales y Métodos.

A pesar de los resultados prometedores, varios problemas han detenido la aplicación de este proceso en una técnica industrial de separación. El proceso ha sido descartado para ser

utilizado en gran escala, debido al cambio requerido en las cadenas de proceso, el alto requerimiento de energía, la demanda de materiales específicos y la producción de calor.

Con el objeto de minimizar problemas de altos requerimientos energéticos, demanda de materiales específicos y producción de calor, se presentó un nuevo dispositivo patentado por Posten en 2002. Se trata de una electrofiltración de dos caras y un sistema mejorado de una electrofiltración presurizada por primera vez presentada por Hoffman en 2001. Además de la membrana de ambos lados, se forma en un compartimiento entre el medio de filtrado y el electrodo, evitando el contacto directo entre ellos. Este compartimiento se lava por un fluido el cual tiene conductividad igual a la solución principal. Como el fluido pasa a través de la cámara, se lleva los productos de la electrólisis formados por la corriente eléctrica, previniendo el sobrecalentamiento.

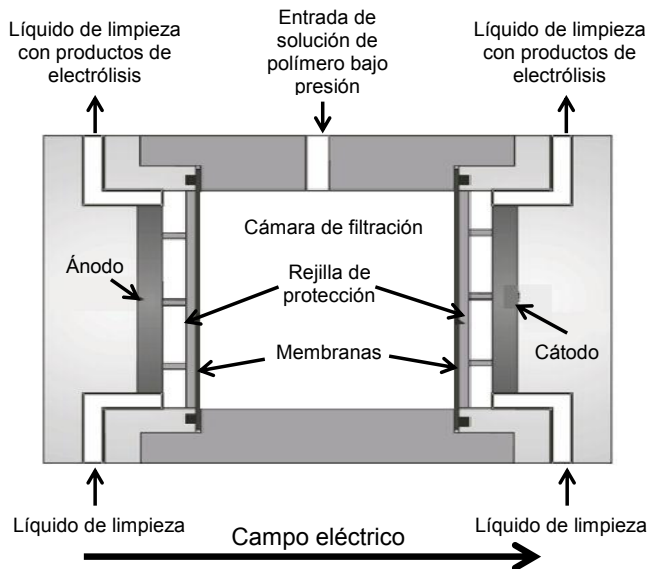


Figura 3.1: Descripción esquemática de la cámara de electrofiltración a escala de laboratorio (adaptado por Kappler y Posten, 2007).

2.1 Soluciones de trabajo y de limpieza

Se utilizaron soluciones de Xantano y de Pectina ambas con una concentración de 2 g/l. Se midió la conductividad y el pH de estas soluciones obteniéndose para el Xantano una conductividad de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un pH de 7, y para la pectina 240 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y pH 4. Se buscaron soluciones buffer que poseen los mismos valores para estas variables para utilizarlas como soluciones de limpieza. Éstas se tratan de 1mM de K_2PO_4 y 1mM de KHPO_4 para el xantano y 2,5 mM de KHPO_4 y HCl 5×10^{-4} mM para la pectina.

2.2 Electrólisis y electrodos.

Los campos eléctricos típicos de la electrofiltración, el voltaje es del rango de unas pocas décimas de voltios. La aplicación del campo eléctrico a través de la solución transforma la cámara en una celda electroquímica. Los electrodos pueden estar hechos de cualquier material

suficientemente conductor, tales como metales, grafito, y también polímeros conductores. La oxidación del electrodo, especialmente el ánodo, puede ser inducida por la ocurrencia de reacciones electroquímicas, esto causa una reducción de la eficiencia, y la contaminación del medio. Mejoras en el proceso, como la utilización de una cámara de flujo, entre la cámara de filtración y los electrodos, pueden reducir los impactos de algunos de estos efectos. La formación de un gradiente de pH y la acumulación del gas que es producido por la electrólisis, se evitan por el evacuado de gases por la solución fluyente que los libera a la atmósfera. Los iones hidróxido y los protones formados, se suprimen uniendo las soluciones y promoviendo la formación de agua. Una solución más avanzada que puede ser aplicada en el caso de los gases podría ser la utilización de una energía química del oxígeno y el hidrógeno para regenerar energía eléctrica usando una celda de combustible.

Como la oxidación del electrodo no se puede evitar, la elección de los materiales es un punto clave para el éxito de esta técnica. Aún materiales estables estarán sujetos a la corrosión, por ellos es que materiales especiales, como algunos tipos de aceros inoxidable y níquel se usan por su buena resistencia a la oxidación. Pero estos materiales tienen un ciclo de vida corto, porque se ionizan por la aplicación de corriente y son consumidos por elución dentro de la solución principal (Bamford y Compton, 1986). Electrodo menos sensibles como dióxido de plomo y metales nobles como oro y platino son una alternativa pero son muy caros (Weber y Stahl, 2002) y económicamente inviables. Los electrodos de carbono pueden ser relativamente baratos, pero son frágiles y no pueden soportar el estrés mecánico ocasionado en los procesos presurizados y también son disolubles.

Como fue mencionado anteriormente el material elegido por este laboratorio para su utilización como electrodo, no puede ser revelado ya que el proceso no se encuentra debidamente patentado.

2.3 Presión.

La presión juega un papel importante en la filtración. Uno de las soluciones más triviales es mejorar la presión para mejorar el flujo de la membrana. Por otro lado, el incremento de la presión, comprimirá la torta de filtrado, causando un decremento de la porosidad e incrementando la resistencia, la cual eventualmente eleva la impermeabilidad total (Hofmann y Posten, 2003). Esta compresión también depende de otros factores, especialmente de la repulsión electrostática y de las interacciones de Van der Waals (Bowen et al., 1999). Debido a la compresibilidad de las tortas de filtrado, el lado del ánodo de la torta de filtrado se comprime más con el incremento de la presión. Esto da la posibilidad de optimizar la eficiencia energética de la electrofiltración incrementando la presión (Hofmann et al. 2008).

2.4 Membrana

La membrana utilizada es crucial al rendimiento del proceso. Las características de esta, tales como la porosidad, polaridad y afinidad son principalmente responsables para este comportamiento y selectividad. El caso más común de su comportamiento característico es la adsorción de pequeñas partículas en el interior de los poros, y la restricción así del paso del solvente y de pequeñas moléculas (Perry y Green., 1999). En el caso más extremo la interacción es tan fuerte que los materiales de la membrana se modifican, esto puede deteriorarla membrana y hacer su funcionamiento inviable.

Las membranas de microfiltración son, debido a su mejor estabilidad mecánica y mayor porosidad, más apropiadas para la electrofiltración que las membranas de ultrafiltración. Mientras más poroso y fino es el medio de filtrado, más pequeño es el aumento de voltaje sobre la membrana y mayor la fuerza del campo eléctrico dentro de la cámara de filtración (Hofmann et al. 2008).

3 Resultados y discusión

En esta sección se analizarán diferentes objetivos desarrollados mediante experimentación y los resultados pertinentes a los mismos.

3.1 Determinación de la energía requerida para 100 g de filtrado.

Para esta experiencia se dispusieron las condiciones necesarias para determinar la energía requerida para filtrar 100 g de solución, para lo cual se implementaron diferentes parámetros, los cuales se muestran en la Tabla 4.1. De allí se puede distinguir que el aumento de la diferencia energética entre ambas soluciones se incrementa a medida que incrementa el potencial de la experiencia, o mejor aún, que el potencial, y presión, ideal se encuentra entre la primera y la tercera experiencia, ya que la Energía específica, (Energía requerida por gramo de filtrado), aumenta a más del doble en la tercera experiencia, para ambos casos, con respecto a la segunda.

Tabla 4.1: Consumo de energía de 100 g de filtrado

Experiencia N°	Solución	Potencial (V)	Presión (bar)	Energía (J)	Energía por gramo de filtrado (J/g)	Incremento de la energía para la pectina (%)
1	Xantano	27,2	2	1772,99	18,28	47,53
2	Pectina	27,2	2	2615,84	26,97	
3	Xantano	40	2	2634,96	27,16	105,06
4	Pectina	47,2	2	5403,37	55,70	
5	Xantano	80	4	5302,53	54,66	96,23
6	Pectina	80	4	10404,92	107,27	

3.2 Determinación del requerimiento específico de energía

Las experiencias de electrofiltración requieren de un criterio que permita determinar la cantidad óptima de filtrado dentro de la cámara, tanto para el proceso continuo como el discontinuo. Esto quiere decir que se busca determinar el momento exacto para detener el procedimiento. Así se pensó que el argumento indicado para justificar este criterio sería el consumo energético. Cuando el proceso requiriese un consumo repentino elevado de energía, significaría que es momento de detener la electrofiltración, ya que la energía específica en este punto sería superior a lo conveniente. Desafortunadamente, debido a las limitaciones de tamaño por parte de la cámara, este criterio no fue determinado, ya que la curva representante de la energía específica frente al tiempo de filtración no presenta una variación considerable, si no que por lo contrario se condice con una recta de regresión de una pendiente determinada.

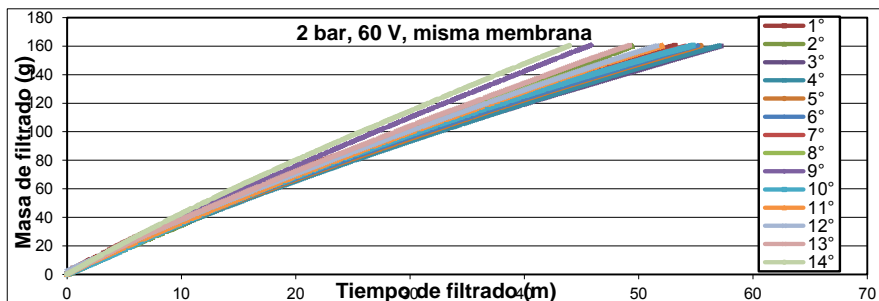


Figura 4.1: Electrofiltración semicontinua de solución de Pectina

3.3 Sistema semicontinuo para Pectina.

Como última etapa en la experimentación con Pectina, se intentó determinar si la velocidad de la filtración variaría con el número de experiencia implementando el sistema continuo, es decir, retirando la torta de filtración mediante la aplicación de presión. Para ello se llevaron a cabo 14 ciclos empleando las mismas membranas, que se representaron las curvas de la figura 4.1. Como se puede distinguir fácilmente, la velocidad del proceso no depende del número de experiencia, ya que no se puede distinguir orden alguno en las curvas, sino que depende de cuán limpia está la membrana a la hora de iniciar el nuevo ciclo.

4 Conclusiones

Se estudió un nuevo proceso para las filtraciones, la electrofiltración, que es especialmente factible para los procesos biotecnológicos (filtración de biopolímeros), el cual se experimentó con polímeros modelo, obteniendo resultados prometedores tanto energéticamente como en cuestiones de tiempo. Es un proceso rápido y económico a la hora de procesar, no tan así en el momento de realizar la inversión para la compra de equipos. Es así que el principal objetivo para las siguientes investigaciones es la implementación de materiales más accesibles y de mayor duración, para posterior análisis de resultados y comparación con los aquí utilizados. Así como también su aplicación a procesos de mayor complejidad.

5 Referencias

- Bamford, C. y Compton, R. *Comprehensive Chemical Kinetics: Electrode Kinetics: Principles and Applications*, Vol. 26.; 1986.
- Beechold, H., *Colloid Chemistry*. Chem. Catalog Co., 1926, Vol. 1. J. Alexander
- Gözke, G. y Posten, C. *Electrofiltration of Biopolymers*. *Food Eng. Rev.* 2010, pp. 131-146.
- Hofmann, R. and Posten, C. *Improvement of dead-end filtration of biopolymers with pressure electrofiltration*. *Chemical Engineering Science*, 2003, Vol. 58, pp. 3847-3858.
- Hofmann, R.; Kappler, T. and Posten, C., *Pilot-scale press electrofiltration of biopolymers*. *Separation and Purification Technology*, 2006, Vol. 51, pp. 303-309.
- Kappler, T. and Posten, C., *Fraction of proteins with tow-sided electro-ultrafiltration*. *Journal of Biotechnology*, 2007, Vol. 128, pp. 895-907.
- Khoury, F. *Multistage separation Processes*; CRC Press, 2005.
- McCabe, W.L., Smith, J.C. y Harriot, P. (2001). "Unit Operations in Chemical Engineering". 6ª edición. McGraw-Hill. New York. Traducción al castellano (de la 6ª edición): "Operaciones Básicas de Ingeniería Química". (2002). McGraw-Hill. México.
- Perry, R. y Green, D. *Perry's Chemical engineers' Handbook*; The McGraw-Hill Companies, Inc., 1999.
- Oliveira, R. *Processos de Separação em Engenharia Biológica*; Departamento de Engenharia Biológica: Braga, 1995.

ANÁLISIS PRODUCTIVO-ECONÓMICO DEL CULTIVO DE AZAFRÁN EN LA ZONA DE VILLA MARÍA

Autores: Federico Giusti⁽¹⁾, Guillermo Eduardo Vionnet⁽²⁾

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María.

Avenida de la Universidad 450 (5900) Villa María. Provincia de Córdoba. ARGENTINA. Tel. (0353) 4537500/4537501. <http://www.frvn.utn.edu.ar/>

⁽¹⁾: fedegiusti@hotmail.com ; ⁽²⁾: guille_40@hotmail.com

RESUMEN

Si bien, el cultivo, comercio y usos del azafrán, son cuestiones que datan de más de dos milenios en algunas regiones del mundo, resultan muy recientes y novedosas en nuestro país y por supuesto en la zona de Villa María, que serán objeto de nuestra investigación. Hay un cúmulo de información que circula por diversos medios en el cual se exponen un conjunto de datos que, para esta región en particular, no han sido analizados pero que encuadran a la especie dentro de un marco favorable para su producción y comercialización. Tampoco existen registros acerca de las condiciones en las cuales se produce en la zona, ni de las cuestiones comerciales y de mercado ligadas al producto que se obtiene a partir de la desecación de los estigmas de la flor del *crocus sativus*. Una investigación cualitativa ligada a los aspectos mencionados, permitirá obtener resultados para determinar, en forma posterior a su análisis, la realidad productiva y económica en torno al azafrán en la zona.

INTRODUCCIÓN

La causa principal que motivó la investigación, fue la información que circulaba por los medios y que definía al cultivo de azafrán como un negocio muy atractivo en especial para nuestra provincia, porque en Córdoba, aparentemente, el cultivo del azafrán se presentaba como una excelente oportunidad de negocio para aquellos que contaban con una pequeña superficie de tierra cultivable. Según los datos que se manejaban, una superficie mínima de 5000 metros cuadrados (media hectárea) resultaría suficiente para lograr un cultivo rentable [1].

Desde el punto de vista técnico aún no se ha llegado a establecer con precisión cuál es el manejo más adecuado para el éxito en el cultivo aunque ya existan, desde hace algunos años en el país, grupos que investigan sobre cuestiones técnicas vinculadas al azafrán con el objetivo de lograr una producción lo más eficiente posible [2]. Pese a esto se puede notar que, en el país, muchos productores desconocen cuestiones básicas de manejo. Es decir que ya existe información disponible y hay registros basados en experimentaciones llevadas a cabo en diferentes lugares del mundo, que indudablemente sirven como guía para avanzar sobre los requerimientos esenciales del cultivo en regiones encuadradas dentro del territorio Argentino.

El azafrán es un cultivo que por milenios ha sido producido por culturas y países típicamente de latitudes medias, que en algunos casos llegaron a identificarse como sinónimos de calidad del mismo. En el caso de Villa María y sus alrededores, podemos decir que está catalogada como una zona con un régimen de temperaturas y lluvias bastante distinto al que las personas más experimentadas en el cultivo a nivel nacional estiman como adecuado para la producción ya que, entre otras cosas, cuenta con un verano lluvioso y un invierno seco [3].

Otro aspecto a considerar es que es muy exigente en mano de obra, especialmente para la cosecha de flores y extracción de hebras (estigmas), el cultivo de azafrán perdura hoy en dos escenarios productivos bien distintos: el tradicional, basado en prácticas ancestrales y en el empleo de mano de obra familiar, y el de países "desarrollados", en los que el cultivo está en franca retracción [4]. Para continuar e incrementar la producción en este segundo escenario se hace necesario proponer tecnologías alternativas que logren el aprovechamiento más intensivo de los recursos productivos. Una serie de importantes estudios de la fisiología de la floración de esta

especie, principalmente desarrollados en España, abren hoy la posibilidad de plantear soluciones a esta situación mediante la implementación de un sistema más intensificado.

Para las condiciones de cultivo de la Región Central Cordillerana-Serrana de Argentina, este planteo de producción intensiva deberá aún ser validado y adaptado, evaluando su factibilidad técnica y económica. No obstante, las experiencias locales (Mendoza) recientes y los avances ya disponibles en el conocimiento de la fisiología de la especie, muestran que el azafrán puede constituirse en una interesante alternativa productiva, para pequeñas empresas de base tecnológica [2].

En relación a los recursos humanos, y teniendo en cuenta su exigencia en este punto, podemos agregar que, se estima según INTA, que la demanda de mano de obra para la recolección y monda de 150.000 flores que representarían un kilogramo de azafrán especia y se encuentran distribuidas en una superficie aproximada de 500 m² (a razón de que se cuente 150 cormos por m²) es de cincuenta jornales, ósea que para dar una idea de la magnitud de la mano de obra necesaria, deberíamos contar con cincuenta personas trabajando ocho horas diarias durante un día en el azafranal para realizar las tareas correspondientes. Esto, obviamente, es dicho a los fines de dar un ejemplo ya que la floración se daría en un lapso de entre quince y veinte días pero sirve para fijar un equivalente que represente las mismas horas durante la época de cosecha y monda. Aunque no terminaría aquí la cuestión, ya que, los recursos humanos deberían estar calificados para realizar un trabajo acorde a lo requerido [2],[4].

Si hablamos del consumo y el mercado real y potencial de la especia; los productores e investigadores a nivel provincial y nacional ya citados (y que poseen mayor experiencia en el tema) sostienen que en nuestra cultura gastronómica no estaría instalado el consumo habitual de azafrán por lo que resultaría una tarea sencilla engañar a los consumidores ya que estamos frente a un producto que se presta para ser adulterado debido al elevado precio con el cual cotiza en los mercados. Suele adicionársele estigmas de otras plantas, azafrán bastardo (*Carthamus tinctorius*), caléndula, cúrcuma, entre otras con el objeto de aumentar su volumen [2].

Por todas estas cuestiones mencionadas y ,mediante la compilación de información primaria y secundaria en base a cuestiones técnicas y comerciales del azafrán que se sucedan principalmente en la zona de Villa María, pudiendo incluir también información de otras regiones relacionadas con el tema, pretendemos: obtener resultados y analizarlos a los fines de cumplir con los siguientes objetivos:

- 1) Describir la situación actual del cultivo en relación a aspectos productivos y de mercado, en una zona comprendida en un radio aproximado de quince kilómetros sobre la ciudad de Villa María, Córdoba.
- 2) Analizar las perspectivas a futuro.
- 3) Dejar sentada por escrito una base de información útil para aquellos que se encuentren interesados en producir y/o comercializar la especia a nivel local y regional, ó simplemente deseen informarse acerca de ella.

METODOLOGÍA

Cabe aclarar que el presente trabajo de investigación se encuadra dentro de las denominadas ciencias sociales, en las cuales la metodología aplicada es de carácter cualitativo, y el método utilizado debe adecuarse al objeto para luego comprender e interpretar la realidad.

A diferencia de la investigación cuantitativa, la investigación cualitativa busca explicar las razones de los diferentes aspectos del comportamiento.

A través de la recolección y análisis de la información obtenida de dos grupos imprescindibles para el cultivo a la hora de su producción y comercialización (productores y la mano de obra

requerida/disponible) pudimos determinar bajo que condiciones se produce el azafrán en la zona y cuales son las perspectivas de aquellas personas vinculadas a la actividad.

Una variable sumamente importante, imprescindible diríamos para la producción del azafrán en cantidad y calidad, es tener conocimiento de los requerimientos del cultivo y de las técnicas de producción más reconocidas y aplicadas en relación a, entre otras cosas el manejo que debe realizarse y las condiciones favorables para el desarrollo del cultivo.

Esta última variable es, tal vez, una de las más críticas a la hora de optar por la producción de la especia en esta región ya que, si bien la Provincia de Córdoba está en la denominada zona mediterránea, posee una enorme variabilidad geográfica y en algunas permite llevar a cabo una producción bajo mejores condiciones que en otras sin olvidar que, Villa María cuenta con un invierno seco y un verano lluvioso [3].

Como primera medida de acercamiento e interacción con los productores comenzamos averiguando quienes eran las personas que en la zona de Villa María se dedicaban a producir la especia y posteriormente nos pusimos en contacto con ellos tratando, obviamente, de englobar a la mayoría que poseen bulbos y realizan la actividad.

Luego de haber hecho contacto con ellos, nuestro segundo paso fue recabar datos básicos sobre su producción y además tener una idea acerca del conocimiento que poseían sobre los principales aspectos técnicos del cultivo y sus requerimientos, para obtener resultados en relación a estos.

Es por ello que diseñamos y repartimos una encuesta a los productores, quienes no componen el 100% de la población que produce azafrán en la zona, por lo que se trató de una encuesta por muestreo, donde tuvimos acceso a solo una parte de la población, la cual estimamos como representativa de la población total y en donde el marco muestral que utilizamos son las cantidades de bulbos T3 y T4 que poseía, debiendo ser esta mayor a 200 por el simple hecho de que todos los contactados poseían como mínimo esta cantidad.

Catalogamos la encuesta como un “sondeo de opinión”, que es una medición no estadística tomada a partir de encuestas y se utiliza solo para recolectar datos sobre lo que piensa o hace un número de individuos de un determinado grupo y sobre un determinado tema.

Otra acción que realizamos posteriormente fue mantener el contacto con estos productores y además trabajar con otros sujetos vinculados con la producción y comercialización de azafrán en la zona para obtener resultados útiles al momento de describir la mano de obra, el mercado y todo lo relacionado al comercio de la especia en la zona. Mediante el relevamiento de comercios, restaurantes y tiendas de *delicatessen*, entre otras, pudimos determinar qué azafrán se vende en la zona, su presentación, precio y destinos.

RESULTADOS

Teniendo en cuenta la encuesta realizada en torno a cuestiones técnicas de la especia, los resultados fueron los siguientes:

- El 90% de los productores utiliza el método de producción a campo.
- El sustrato utilizado no tiene semejanzas entre los productores, en cuanto a su composición.
- El promedio de cormos adultos es de 350 por productor.
- La cantidad de cormillos promedio obtenida por cormo adulto es de 3,61.
- El porcentaje de floración es del 0,0013469%.
- Ningún productor conoce o aplica los métodos de producción informados en la encuesta (recomendados por INTA, según sus experiencias) [2].
- Con respecto a la mano de obra y, luego de dialogar con UATRE (la principal entidad proveedora de recursos humanos para tareas rurales), determinamos que, en la zona, no

existe mano de obra experimentada y/o capacitada para realizar las tareas demandadas por la especia posteriores a su floración.

- Si nos referimos al mercado local, la oferta de azafrán en la zona de Villa María está compuesta por el que se puede comprar en comercios tales como: supermercados, almacenes, tiendas de *delicatessen* y además si uno lo desea puede adquirir la especia por medio de sitios web en internet y recibirla en su propio hogar.
El precio al que se puede comprar una cápsula de azafrán molido de 2dg. Oscila entre los nueve y los dieciséis pesos argentinos, dependiendo de la marca. Si trasladamos estos valores para un kilogramo de la especia, estaríamos hablando de un valor que va desde \$45.000 a \$80.000 por kg. Y si nos referimos al azafrán en hebras, el precio es de sesenta pesos para 3,5dg, es decir unos \$171.428 por kg.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Una vez que contamos con la totalidad de las encuestas completas y de haber realizado los relevamientos correspondientes para analizar la mano de obra y el mercado, nos dedicamos a procesar los datos recolectados para concluir, por un lado, nuestro sondeo de opinión y elaborar información que nos ayude a determinar bajo que condiciones se produciría el azafrán en la zona de Villa María, Córdoba y además describir los dos aspectos restantes.

Los resultados obtenidos demostraron un manejo poco apropiado ya que, entre otras cosas se pudo determinar lo siguiente:

- El método de producción más utilizado resultó ser el de cajones, debido a que era recomendado por la mayoría de los vendedores de bulbos de azafrán. Una ventaja que presentaría es la de permitir la flexibilidad de la producción permitiendo mover los cajones hacia condiciones meteorológicas más favorables y fundamentalmente para disminuir el requerimiento de la mano de obra ya que se estaría trabajando en mejores condiciones y de manera más rápida que con un cultivo a campo.
- La composición del sustrato en el cual los productores colocan sus bulbos es motivo de discrepancia entre los encuestados. Esta singular combinación se debería principalmente a los ensayos que vienen realizando los productores a partir de sus experiencias y/o conocimientos, eligiendo aquel que según ellos les proporciona un mejor resultado.
- la cantidad de cormillos producidos por cormo adulto/año es relativamente buena en comparación con la producción de flores de la zona y esto afecta negativamente la producción ya que mucha gente se inicia en la producción azafrán comprando bulbos o cormos de cualquier tamaño y calidad alentados por un negocio que resulta atractivo teniendo en cuenta el elevado precio de la especia pero tienen numerosas dificultades para lograr que el cormo produzca la flor, que debería ser en definitiva lo que al productor le interesa. Esto, sumado a que la producción de azafrán aquí es una cuestión muy reciente, da lugar a ciertas particularidades que atentan contra la producción y la rentabilidad que son: la buena cantidad de cormillos producidos por año (pero la gran escasez de cormos T3 y T4) y algo muy usual, según expresaron algunos productores, la venta de los cormillos acompañados de un mal asesoramiento. Motivo por el cual muchos productores se sienten satisfechos por tener una buena producción de cormillos pero ignoran la posibilidad de que gran parte de sus cormos ya podrían haber florecido y además la pérdida de estos por un mal manejo.
- El porcentaje de floración es del 0,0013469% (0,66/490 flores teóricas según INTA, [2]) si consideramos que según los datos obtenidos cada productor logró en promedio 0,66 flores (menos de 1) de las 490 que debería haber producido teniendo en cuenta que, según las encuestas, poseían un promedio de 350 cormos en condiciones de producir 1,4 flores. En ese caso el porcentaje de flores producido por cormo sería de 0,0018% (0,66 flores/350 cormos promedio de cada productor). Si bien hay que tener en cuenta que podría deberse a las limitaciones agroclimáticas [3], la escasa producción de flores estaría ligada a problemas relacionados con el manejo y la falta de conocimientos sobre los requerimientos del azafrán y las

técnicas que se deberían aplicar a la producción si se pretende hacer de este un cultivo viable desde el punto de vista técnico.

- Que ningún encuestado de Villa María conozca ni aplique estrictamente las técnicas de manejo tendientes a cubrir los requerimientos adecuados del cultivo no es un detalle menor ya que, si lo que uno pretende con este cultivo es obtener un retorno adecuado sobre el capital invertido, debería contar con la mayor cantidad de información técnica posible referente al emprendimiento y aplicarla en pos de obtener resultados que justifiquen la inversión realizada.
- La producción local obtenida hasta el momento es significativamente baja y se lleva a cabo en un marco de pocas certezas que da como resultado una escasa cosecha de flores.
- Las características agroclimáticas de la zona de Villa María no se presentan como las ideales para el cultivo, o por lo menos muestran diferencias con las zonas de mayor producción mundial, en las que predomina el clima árido.
- En la zona no existe mano de obra calificada para las tareas de post-floración. Resulta una tarea compleja poder contar con una cantidad de empleados calificados en el tiempo solicitado.
Una alternativa inmediata para poder llevar adelante las actividades posteriores a la floración sería la de poder contar con los recursos humanos proveídos por la Unión Argentina de Trabajadores Rurales y Estibadores (UATRE), cuya delegación local posee actualmente treinta trabajadores con posibilidades de ampliarse. Debe trabajarse capacitando a las personas para que puedan realizar un buen trabajo en las tareas posteriores a la floración pero no hay gente experimentada en dicha cuestión.
- Si nos referimos al comercio, estamos frente a un mercado muy pequeño y selecto de consumidores que, directamente, demandan la especia principalmente por sus propiedades gastronómicas. Pero, la mayoría no posee conocimientos acerca de las múltiples propiedades que posee la especia, además de las gastronómicas, y que la catalogan como la más cara del mundo. Además, la mayor parte de los consumidores son del tipo indirectos ya que demandan productos (generalmente bebidas) que contienen azafrán en su composición.

Desde el punto de vista comercial, no se han realizado acciones para insertar la producción de la zona y la totalidad del azafrán que puede comprarse para consumo es importado. La calidad del azafrán ofrecido no es un factor muy tenido en cuenta en el perfil del consumidor local, ya que es un producto que no se encuentra instalado en nuestra cultura gastronómica.

CONCLUSIÓN FINAL

Hoy en día la realidad es que el negocio principal es la venta de cormos, alentada por la información que circula y que define al cultivo como una excelente oportunidad de negocio y además el alto precio que posee la especia a nivel mundial.

Muchos se inician en la actividad comprando cormos de cualquier tamaño, calidad y precio sin siquiera conocer determinada información básica que lleva luego a que no se obtengan los resultados deseados y algo que es peor aún: la pérdida de esos cormos por un mal manejo. Es por ello que deben realizarse acciones para remediar la falta de información, la y la escasez de cormos.

Si bien en la actualidad el negocio es vender cormos, no debemos perder de vista que lo principal debe ser la producción de azafrán, motivo por el cual se debería trabajar para, en el futuro, lograr que de manera definitiva se trabaje con de revertir la actual situación y se pueda contar con una adecuada cantidad y calidad de cormos, además del respaldo técnico para alcanzar el éxito en la producción de la especia. Es decir que se debe proyectar buscando el negocio del azafrán propiamente dicho en vez del “negocio de los cormos” que se desarrolla hoy. Para ello creemos

que se requiere más experimentación e investigación. Se debería comenzar primero a buscar resultados productivos satisfactorios y luego trabajar en las cuestiones comerciales para determinar si es posible una buena rentabilidad en el cultivo. Para ello deberá reemplazarse el actual perfil de *hobby* que posee la actividad en la zona, por uno más profesional desde todo punto vista, avalado por personal idóneo en el tema.

REFERENCIAS

- [1] <http://www.infoagro.com/aromaticas/azafran.htm>. Junio de 2010.
- [2] Poggi, L. M. (2009). Problemáticas y nuevas perspectivas tecnológicas para la producción de azafrán. *Horticultura Argentina*, v. 28, no. 65.
- [3] Pronóstico Climático de las lluvias en la Región Central de Córdoba. Periodo 1955 - 2009. INTA UEE Manfredi – Año 2010.
- [4] Alonso Díaz, M. (2006). *Azafrán en Europa. Problemas y estrategias para valorizar la calidad y mejorar la competitividad*. 2da. Ed. Nuove Grafiche Puddu, Italia.

Indice

TF001 - EQUILIBRIO LÍQUIDO-LÍQUIDO EN MEZCLAS CONTENIENDO GLICERINA <i>Alfonsina E. Andreatta; María B. Longo; Carolina M.Utrera; Matías R. Saavedra</i>	9
TF002 - DESARROLLO DE UNA INTERFAZ COMPUTACIONAL “ABAQUS-MATLAB” Y SU APLICACIÓN EN PROBLEMAS DE OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL. <i>D. Decicco, A. Romero y A. Valdéz.</i>	15
TF003 - IMPLEMENTACIÓN DE UN ELEMENTO FINITO CON ROTACION NODAL LIBRE <i>D. Decicco, A. Romero y A. Valdéz.</i>	21
TF004 - RENDIMIENTOS DE BIOETANOL EN FERMENTACIONES REALIZADAS CON MOSTOS DE ALTA CONCENTRACION DE SOLIDOS <i>Romina A. Beltrán, Nadia Z. Comba</i>	27
TF005 - COMPARACIÓN DE TÉCNICAS ANALÍTICAS DE DETERMINACIÓN DE ALMIDÓN DE MAÍZ <i>Nadia Z. Comba, Romina A. Beltrán</i>	33
TF006 - EVALUACION DE LA POTENCIAL CAPACIDAD PARA EL ALMACENAMIENTO DE HIDROGENO Y CARACTERISTICAS DE MATERIALES MESOPOROSOS TIPO MCM-41 <i>Carraro, Paola María</i>	39
TF007 - COMPUESTOS FENÓLICOS EN LA FRACCIÓN SALVADO DE VARIEDADES DE TRIGOS ARGENTINOS Y SU ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE <i>S. Garnero. V. Caporali. E. Carrizo. M. Panero</i>	45
TF008 - CARACTERIZACIÓN DE ACEITES ESENCIALES DEL DEPARTAMENTO SAN JUSTO (CÓRDOBA) <i>Alfonsina E. Andreatta, María B. Longo; Carolina Utrera; Matías Saavedra, Gloria Foco</i>	51
TF009 - SOFTWARE DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA DEL MÉTODO DE LA RIGIDEZ EN INGENIERÍA MECÁNICA <i>Stratta Lucas, Jalil Jeremías, Tais Carlos</i>	57
TF010 - “ANÁLISIS CUANTITAVO DE COEFICIENTES DE ARRASTRE Y SUSTENTACIÓN USANDO EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS” <i>Rosso Santiago</i>	63
TF011 - EVALUACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y OTROS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN MIELES MONOFLORES DE LOTUS Y EUCALIPTO <i>COLOSIMO, Julieta; GALETTI, Valeria.</i>	69
TF012 - EVALUACIÓN DE LA CONSTANTE CINÉTICA k PARA EL EJERCICIO DE LA DBO EN EFLUENTES DE LA INDUSTRIA CHACINERA <i>Jorge A. Garnero, Paola G. Chiappero</i>	75
TF013 - TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE - NORMA ISDB-Tb <i>Hugo Oliveros, Hector Ferrari</i>	81
TF014 - CAPACIDAD ANTIMICROBIANA DE MICROENCAPSULADOS DE GOMA ARÁBIGA EN LECHE, FRENTE A MICROORGANISMO MESÓFILO Y PSICRÓTROFO <i>Boiero, M. Laura; González Estévez, Virginia; Allasia, Mariana; Sarmiento, Paula Victoria</i>	87

TF015 - O SISTEMA DE ADQUISICIÓN, ALMACENAMIENTO Y VISUALIZACIÓN DE DATOS EN PC UTILIZANDO SENSORES MEMS (ACELERÓMETROS)	93
<i>Bernardi, Emanuel; Moriondo, Darío; Peretti, Gastón.</i>	
TF016 - CINÉTICA DE LA HIDROXIMETILACIÓN DE LA MELAMINA EN PRESENCIA DE METANOL	99
<i>S. Perez, A. Stola, D. A. Estenoz y V. V. Nicolau</i>	
TF017 - INDUCCIÓN DE MACRO-OPERADORES DE REPARACIÓN EN SISTEMAS INTERACTIVOS DE RE-SCHEDULING	105
<i>Paula A. Toselli, Jorge A. Palombarini, Ernesto C. Martínez</i>	
TF018 - EQUIPO MODULADOR / DEMODULADOR DE TÉCNICAS DE AMPLITUD (DBLPS, AM, BLU) PARA LA ENSEÑANZA DE TEORÍA DE LAS COMUNICACIONES	111
<i>Cattáneo, Diego Sebastián</i>	
TF019 - PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE BIOGÁS OBTENIDO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	115
<i>Hernán G. Asís, Fabián Dopazo, Paulo J. Gianoglio</i>	
TF020 - RESEÑA DE INFORMACIÓN SOBRE REMEDIACIÓN NATURAL PARA COMPLETAR LA DEPURACIÓN DEL CROMO (VI) Y (III) EN EFLUENTES DE CURTIEMBRES.	121
<i>Romina Quezada, Eliana Varela - Tutor: MSc. Miguel A. Rosa</i>	
TF021 - INFLUENCIA DE LA FUENTE DE NITRÓGENO EN EL MEDIO DE CULTIVO, EN EL CRECIMIENTO DE <i>RHODOTORULA SP.</i> DE ORIGEN LÁCTEO.	127
<i>M. A. G. Liboa, M. E. Guerin, L. Pegoraro</i>	
TF022 - MÓDULO GRÁFICO DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES	133
<i>Martín Beccaría</i>	
TF023 - EVALUACION DE NITRATOS, NITRITITOS Y CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA EN AGUA ENVASADA PARA CONSUMO HUMANO.	139
<i>María Eugenia Guerin, María Alejandra G. Liboa,</i>	
TF024 - INTERACCIÓN DE QUITOSANO CON ESPECIES REACTIVAS DE OXÍGENO	145
<i>Noelia L. Vanden Braber, Nadia Z. Comba, Virginia Gonzalez Estevez</i>	
TF025 - DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE UN CLARIFICADOR SECUNDARIO DE EFLUENTES LÁCTEOS UTILIZANDO MATLAB	151
<i>Carlos A. Córdoba - Tutor: MSc. Miguel A. Rosa</i>	
Tf026 - PARAMETRIZACIÓN DE LA CURVA DE MAGNETIZACIÓN DE UN TRANSFORMADOR	157
<i>Alejandro Gudíño, Juan Francisco Russo</i>	
TF027 - APLICACIÓN DEL SOFTWARE FREEMAT 4.1.1 EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE EQUILIBRIO Y VOLUMETRÍA ACIDO-BASE	163
<i>Bicego, Franco – Chalvo, Gonzalo – Ciardelli, Sofia – Morea, Pilar</i>	
TF028 - DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA INMOVILIZACIÓN SOBRE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DE -AMILASA	167
<i>Sabariz Alves, Lucia Belén – Vazquez Montalbetti, María Emilia – Chevarría, Gastón Alejandro</i>	
TF029 - OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LA FERMENTACIÓN DE SORGO	173
<i>Andrés L. Barletta; Yanina I. Sánchez; Lucía A. Valazza</i>	

TF030 - MEDIDOR DE RADIACION SOLAR CON ALMACENAMIENTO EN MEMORIA SD <i>Fabían Sensini</i>	179
TF031 - ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA INFLUENCIA DE FACTORES DE ESTRÉS EN LEVADURAS INDUSTRIALES Y LEVADURAS DE PANIFICACIÓN <i>Bernardo Sigifredo; M. Celeste Stroppiano</i>	185
TF032 - FILTRO ADAPTIVO BASADO EN DISPOSITIVOS PROGRAMABLES <i>Mónica A. Lovay</i>	191
TF033 - SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y VISUALIZACIÓN DE PARÁMETROS BRINDADOS POR MÓDULO GPS <i>Perassi, Matías; Barbero, Mauro; Secrestat, Nicolás; Peretti, Gastón</i>	197
TF034 - TECNOLOGÍA DE VOZ SOBRE IP APLICADA A LA INTEGRACIÓN DE PLATAFORMAS DE TELEFONÍA EN INSTITUCIONES ACADÉMICAS PÚBLICAS DE ARGENTINA <i>Mariano Javier Martín</i>	203
TF035 - SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA TORRE DE DESTILACIÓN FRACCIONADA <i>Sebastián José Marengo</i>	209
TF036 - ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA PURIFICACIÓN DE POLÍMEROS EN SISTEMAS DISCONTINUOS Y SEMICONTINUOS MEDIANTE ELECTROFILTRACIÓN <i>Nicolás Giraudó</i>	215
TF037 - ANÁLISIS PRODUCTIVO-ECONÓMICO DEL CULTIVO DE AZAFRÁN EN LA ZONA DE VILLA MARÍA <i>Federico Giusti, Guillermo Eduardo Vionnet</i>	221

5ª Jornadas
CyTAL
2012 

5ª Jornadas de
Ciencia y Tecnología

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL VILLA MARÍA

ORGANIZAN:

Secretaría de Ciencia,
Tecnología y Posgrado



Secretaría Académica
Subsecretaría de
Asuntos Estudiantiles

Comité Organizador

Presidente:
Ing. Pablo Rosso

Vicepresidente:
Ing. Roberto Bergero

Secretario Ejecutivo:
Ing. Marcelo Cejas

Coordinadores:

Lic. Carlos Debandi **Mg. Elizabet Silleoni**

Integrantes:

Dr. Eduardo Romero **Mg. Miguel A. Rosa**
Mg. Carlos Tais **Dra. Mariana A. Montenegro**
Mg. Luis Toselli **Dra. Gabriela Peretti**
Ing. Gaspar Cena **Mg. José Peralta**
Cr. Sergio Gilabert **Ing. Franco Salvático**

Secretarios:

Ing. Javier Gonella **Ing. Fabian Sensini**

AUSPICIAN:



GOBIERNO DE LA
PROVINCIA DE
CORDOBA

Ministerio de
CIENCIA Y
TECNOLOGÍA



Córdoba
Entre todos

ISBN

Agosto 2012