



INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE ZACATEPEC



Novasitz

REVISTA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

**DISEÑO DE UN BIOREACTOR DE TAMBOR HORIZONTAL
CON ASPAS GIRATORIAS PARA FES**

**DISEÑO DE EXPERIMENTO PARA DETERMINAR EL TIEMPO ÓPTIMO
DEL PROCESO DEL COMPRESOR DE LA PLANTA MYCOM MAYEKAWA**

**OBTENCIÓN DE HARINA DEL *Pithecellobium dulce* (guamúchil)
PARA LA REALIZACIÓN DE UN PRODUCTO COMESTIBLE**

**OBTENCIÓN DE UN EXTRACTO DE PLANTAS CON POSIBLE ACTIVIDAD
ANTIMICROBIANA, EVALUADOS EN LA BACTERIA *Escherichia coli***

**SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE PARARRAYOS CON
DISPOSITIVO DE CEBADO "FOREND"**



**EMPLEO DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA PARA MODIFICAR
MEMBRANAS DE POLIETERSULFONA Y SU EFECTO EN EL DESEMPEÑO
DE PROCESOS DE SEPARACIÓN POR ULTRAFILTRACIÓN**

No.50
Marzo 2012

ISSN No. 1405-9967
Certificado de Licitud de Título No. 11163
Certificado de Licitud de Contenido No. 7794
Que otorga la comisión calificadora de publicaciones
y revistas ilustradas de la Secretaría de Gobernación.
Reserva 04-2005-091915321800-102

DIRECTORIO

Ing. Roberto Ortiz Delgadillo
DIRECTOR.

MC. Yolanda Figueroa Ocampo.
SUBDIRECTORA DE PLANEACIÓN.

Dr. Miguel Ángel Chagolla Gaona
SUBDIRECTOR ACADÉMICO.

MARH. Rogaciano Velázquez Vázquez.
SUBDIRECTOR DE SERVICIOS ADMINISTRATIVOS.

Ing. Alma Lilly Nava Sedano.
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE
COMUNICACIÓN Y DIFUSIÓN.

C. Eduardo Vázquez Aranda.
JEFE DE LA OFICINA DE DIFUSIÓN ESCRITA.

Ing. Eduardo Sidarta Arriaga Ambriz
JEFE DE LA OFICINA DE DIFUSIÓN AUDIOVISUAL

C. Susana Castro Martínez.
SECRETARIA.

C. Arturo Fernández Ortiz
C. Jesús Basilio Castrejón Cortez
IMPRESIÓN EDITORIAL DEL ITZ

**COORDINADOR TÉCNICO DE
LA REVISTA NOUSITZ**
Dr. Rene Salgado Delgado

Tiraje 250 ejemplares Distribución Gratuita.

REVISTA ARBITRADA

CONSEJO EDITORIAL

Ing. Roberto Ortiz Delgadillo
DIRECTOR DEL PLANTEL

Dr. Miguel Ángel Chagolla Gaona
SECRETARIO ACADÉMICO

MC. Yolanda Figueroa Ocampo
SECRETARIA DE RELACIONES
INTERNAS Y EXTERNAS

MARH. Rogaciano Velázquez Vázquez
SECRETARIO DE FINANZAS
Y COMERCIALIZACIÓN

Ing. Viridiana García Navarro
SECRETARIA TÉCNICO

Ing. Alma Lilly Nava Sedano
JEFA DE INFORMACIÓN

C. Eduardo Vázquez Aranda
JEFE DE EDICIÓN Y PRODUCCIÓN

MC. Pedro Aragón Hernández
JEFE DE EDICIÓN DIGITAL

Ing. Narda Martínez
JEFA DE RESGUARDO Y DISTRIBUCIÓN
DE PUBLICACIONES.

ASESORES

DR. EDGAR GARCÍA HERNÁNDEZ
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DR. FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ CAMPOS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DR. FRANCISCO JAVIER CARTUJANO ESCOBAR

DEPTO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
ING. RICARDO RODRÍGUEZ ROBLEDO
DEPTO. DE METAL-MECANICA

DR. JOSÉ LUIS CORONEL TRUJILLO
DEPTO. DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DR. RENE SALGADO DELGADO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

ING. RODOLFO LÓPEZ BAILÓN
DEPTO. DE QUÍMICA - BIOQUÍMICA

DRA. ANA CELIA CAMPOS HERNÁNDEZ
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

M.C. ÁNGEL SANDOVAL JACOBO
DEPTO. CIENCIAS BÁSICAS

DRA. MINERVA GUADALUPE VARGAS VEGA
POSGRADO DE METAL-MECANICA

ING. CLAUDIA BARRETO CABRERA
DEPTO. DE ING. INDUSTRIAL

ING. CLAUDIA NOGUERÓN GONZÁLEZ
INFORMÁTICA Y COMPUTACIÓN

MARH. ROBERTO YÁÑEZ HERNÁNDEZ
CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS

LIC. BLANCA NIEVES CABRERA LÓPEZ
CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS

DISEÑO DE UN BIOREACTOR DE TAMBOR HORIZONTAL CON ASPAS GIRATORIAS PARA FES ————— 4

M. Quiroz Cardoso¹, A. Tinoco Quintero¹, W. Netzy Hernández Díaz¹, M. Jesús Granados Baeza¹,

F. Javier Hernández Campos^{1*}

1) Instituto Tecnológico de Zacatepec, Calzada Tecnológico # 27, Col. Centro, Zacatepec,

CP 62780, Mor., México *Correo electrónico: javfco@yahoo.com

DISEÑO DE EXPERIMENTO PARA DETERMINAR EL TIEMPO ÓPTIMO DEL PROCESO DEL COMPRESOR DE LA PLANTA MYCOM MAYEKAWA —————10

José Luis Coronel Trujillo¹, Victoria Yazmin Atala Campos¹, Sabina Leyva Adán¹,

Viridiana García Navarro¹, José Tapia Toral¹.

1) Departamento de Ingeniería Industrial. Instituto Tecnológico de Zacatepec.

Calzada Tecnológico No. 27, Zacatepec Morelos. CP. 62780

*Correo electrónico: zacatepecjlct@hotmail.com

OBTENCIÓN DE HARINA DEL PITHECELLOBIUM DULCE (GUAMÚCHIL) PARA LA REALIZACIÓN DE UN PRODUCTO COMESTIBLE —————28

Ma. de Guadalupe Bautista Mundo¹, Monserrat Guadarrama Ramírez¹, Diana Hernández Jahen¹,

Dra. Zully Vargas Galarza¹, Ing. Carlos Felipe Cano Ochoa¹

1) Instituto Tecnológico de Zacatepec. Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica:

Calzada Tecnológico No. 27, Zacatepec, Morelos, México. C.P. 62780

*Correo electrónico: blooson_star@hotmail.com

OBTENCIÓN DE UN EXTRACTO DE PLANTAS CON POSIBLE ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA, EVALUADOS EN LA BACTERIA Escherichia coli —————34

Jorge H. Betanzos Rodríguez¹, Pamela Heredia del Orbe¹, Sergio D. Hurtado García¹

Dra. Zully Vargas-Galarza^{1*}, Dr. René Salgado-Delgado¹

1) Instituto Tecnológico de Zacatepec, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica.

Calzada Tecnológico No. 27 Zacatepec Morelos, C.P. 62780, *Correo electrónico: zullyvag@hotmail.com

SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE PARARRAYOS CON DISPOSITIVO DE CEBADO “ FOREND “ —————40

José Alfonso Santana Camilo^{1*}, Ing. José Alfredo Gutiérrez Torres¹, Arturo Martínez Vélez¹.

(1) Instituto tecnológico de Zacatepec, Calzada Tecnológico No. 27 Zacatepec Morelos, C.P. 62780

*Correo electrónico: jasantanac@hotmail.com

EMPLEO DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA PARA MODIFICAR MEMBRANAS DE POLIETERSULFONA Y SU EFECTO EN EL DESEMPEÑO DE PROCESOS DE SEPARACIÓN POR ULTRAFILTRACIÓN ————— 51

F. Javier Hernández-Campos^{1*}, W. Netzy Hernández-Díaz¹, J. Pablo Pérez-Orozco¹, Z. Vargas-Galarza¹, R. Salgado-Delgado¹

1) Instituto Tecnológico de Zacatepec, Calzada Tecnológico # 27, Col. Centro, Zacatepec, CP 62780, Mor., México

*Correo electrónico: javfco@yahoo.com

DISEÑO DE UN BIOREACTOR DE TAMBOR HORIZONTAL CON ASPAS GIRATORIAS PARA FES

M. Quiroz Cardoso¹, A. Tinoco Quintero¹, W. Netzy Hernández Díaz¹, M. Jesús Granados Baeza¹, F. Javier Hernández Campos^{1*}

¹Instituto Tecnológico de Zacatepec, Calzada Tecnológico # 27, Col. Centro, Zacatepec, CP 62780, Mor., México

*Correo electrónico: javfco@yahoo.com

RESUMEN

La transformación de residuos por Fermentación en Estado sólida (FES) es un potencial importante, no sólo para producir desechos enriquecidos en proteína y usarlos como alimento animal, sino también para obtener otros productos de alto valor comercial como: antibióticos o crudos de enzimas ricos en celulasas, lipasas, proteasas etc. La mayor dificultad para aplicar la FES a gran escala, está en la presencia de gradientes importantes en variables como pH, temperatura y concentraciones, que es debido a las características intrínsecas del sistema heterogéneo sólido-líquido-gas. Por lo que, el éxito de estos procesos depende del diseño de fermentadores que proporcionen las condiciones adecuadas para el desarrollo de los microorganismos. En el presente trabajo se diseñó un bioreactor para FES tipo tambor horizontal con aspas rotatorias, y se evaluó su desempeño empleando un hongo de la especie *Penicillium roqueforti* (productor de proteasas) crecido en bagazo de salvado de trigo. Los resultados demostraron que las mayores producciones de proteasa se obtuvieron a las 72 y 60 horas para diferentes condiciones de velocidad de giro (10 y 20 rpm) liberándose 102.21 y 76.54 µg. Tyr respectivamente. Así mismo, durante la fermentación, no se observaron diferencias significativas en la humedad relativa del sustrato, ni en la temperatura de la cámara.

Palabras claves: Fermentación en estado sólido, Bioreactor, Diseño

ABSTRACT

Transformation of waste by solid state fermentation (SSF) is a significant potential not only to produce protein-rich waste and use as animal feed but also for other commercially valuable products such as antibiotics and enzyme-rich raw cellulases, lipases, proteases and so on. The greatest difficulty in implementing large-scale SSF is in the presence of significant gradients in variables such as pH, temperature and concentrations, which is due to the intrinsic characteristics of the heterogeneous system solid-liquid-gas. So, the success of these processes depends on the design of bioreactors that provide the right conditions for development of microorganisms. In this paper we design a bioreactor for SSF horizontal drum type rotary vane, and its performance was evaluated using a fungus of the species *Penicillium roqueforti* (proteases producer) grown in wheat bran. Proteolytic activity results showed that higher yields were obtained protease at 72 and 60 hours for different speed conditions (10 and 20 rpm) and 76.54 g 102.21 µg of tyrosine liberated, respectively. Also during fermentation, no significant differences in the relative humidity of substrate, or temperature of the fermentation chamber were found.

Key words: Solid state fermentation, Bioreactor, Design

1.- INTRODUCCIÓN

En la biotecnología, las técnicas de cultivo en sustratos sólidos constituyen una alternativa importante para producir alimentos, productos de alto valor agregado y otros. La transformación de residuos fibrosos por fermentación en estado sólido (FES) es un potencial importante, no sólo para producir desechos enriquecidos en proteína y usarlos como alimento animal, sino también para obtener otros aditivos de alto valor agregado, como son los probióticos o los crudos de enzimas ricos en celulasas, proteasas, pectinasas y lipasas. La fermentación en estado sólido consiste en el desarrollo de microorganismos sobre o dentro de sustratos sólidos húmedos e insolubles, en los que el contenido de humedad está al nivel correspondiente de la actividad del

agua y sin exceder el máximo nivel de retención de líquido en el sólido [1]. El diseño de bioreactores está vinculado a estas técnicas de cultivo, aunque aún se encuentra en vías de desarrollo. Al respecto, en la literatura se informa sobre la utilización de equipos específicos, de distinto tipo, en procesos de fermentación muy disímiles. Sin embargo, los detalles del diseño de éstos son escasos, excepto lo referido por [2, 3, 4]. Entre las tendencias mundiales en el diseño de bioreactores para estado sólido, se señala principalmente el uso de equipos compactos, con una altura mínima de sólido de 40 cm. La mayor dificultad para aplicar la fermentación en estado sólido a gran escala, está en los gradientes importantes de las variables, debido a las características intrínsecas del sistema heterogéneo sólido-líquido-gas. Por lo tanto, el éxito de estos procesos depende de la disponibilidad de fermentadores que proporcionen las condiciones adecuadas para el desarrollo de los microorganismos [5, 6].

Otro aspecto de interés es mantener, durante períodos prolongados de fermentación (más de 24 h), las condiciones adecuadas de temperatura y de humedad del cultivo. En sistemas estáticos, esto sólo puede lograrse con una buena distribución del aire a través del medio de cultivo. Entre los prototipos de bioreactores estáticos se hicieron las cámaras de fermentación [7], además de los bioreactores rectangulares con una entrada frontal de aire. La evaluación de la operación de una cámara demostró gradientes de temperatura y de humedad en la dirección altura. Por otra parte, la caracterización de un bioreactor rectangular del Central Azucarero Industrial «Puerto Rico Libre», (Suris y Verdecia 1993, citado por Dustet 1999) demostró gradientes de temperatura de hasta 10 °C. Los resultados anteriores se atribuyeron a una distribución deficiente del aire en el reactor. En el presente estudio se diseñó y construyó un bioreactor tipo tambor cilíndrico con aspas giratorias para ser empleado en FES. La evaluación de su funcionamiento se realizó a partir de la fermentación de salvado de trigo mediante *Penicillium roqueforti* para la obtención de proteasas.

2.- PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Materiales

2.1.1 Especificaciones de los materiales empleados. Salvado de trigo esterilizado, con partículas de tamaño de malla < 10 y humedad relativa del 67 %, solución reguladora de fosfatos 0.1 M (pH 6), caseína, Carbonato de sodio al 2 %, Hidróxido de sodio 0.1 M, Sulfato de cobre pentahidratado, al 1 %, Tartrato de sodio y potasio al 2 %, reactivo de Folin-Ciocalteu, albumina de suero bovino, cepa de *P. roqueforti*, agua deionada, solución de trazas, medio de cultivo PDA.

2.2 Métodos

2.2.1 Ensayos analíticos

2.2.1.1 Cuantificación de actividad proteolítica. La producción de proteasa se cuantificó mediante la evaluación de la actividad proteolítica de la enzima se empleando el método de Kunitz–Lowry y un modelo matemático que relacionó la densidad óptica en función de la concentración de tirosina.

2.2.1.2 Medición de pH. El cambio de pH del sustrato durante la fermentación se determinó mezclando un gramo de sustrato con 20 mL de agua destilada y se colocaron en agitación durante 20 min. a 20 °C. Posteriormente se determinó el pH empleando un potenciómetro.

2.2.1.3 Determinación de humedad del sustrato. El porcentaje de humedad se determinó por la prueba de peso seco constante (100 °C durante 24 h) al bagazo de salvado de trigo al inicio y termino de la fermentación.

2.2.2 Métodos experimentales

2.2.2.1 Diseño del bioreactor. La cámara de fermentación es cilíndrica ($\phi = 13$ cm) con una longitud de 39 cm (relación 1:3) y capacidad de 5 litros, fabricada en acero inoxidable. El sistema de agitación mecánica está compuesto por un motor de velocidad variable, banda y polea que conectan al impulsor para remover el sustrato dentro de la cámara de fermentación. El sistema de aireación está compuesto por una bomba de aire (0-6 L·min⁻¹) con filtro empacado y un sistema de humidificación. El aire es distribuido al interior de la cámara a través de perforaciones distribuidas a lo largo del eje de las aspas giratorias.

2.2.2.2 Preparación del inóculo y condiciones de las fermentaciones. El hongo utilizado fue una cepa de *Penicillium roqueforti*, aislada y purificada en el laboratorio de Ingeniería Bioquímica, perteneciente al Instituto Tecnológico de Zacatepec. El medio de cultivo se preparó mezclando solución salina, agua estéril y bagazo de salvado de trigo estéril de tamaño de malla<10 (relación 1:1:1), obteniendo un porcentaje de humedad del 67 %. El sustrato fue inoculado con 10³ esporas /ml del hongo aislado.

Las corridas experimentales se realizaron usando una velocidad de impulsor de 10 y 20 rpm, tamaño de malla<10, flujo de aire inyectado a la cámara de fermentación de 6 L·min⁻¹ y temperatura de cultivo de 30 °C.

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Diseño del bioreactor. El bioreactor se diseño tomando como base de cálculo una capacidad de 5 L y respetando las relaciones estándar de longitud diámetro (3:1). Partiendo de esta base se le dieron dimensiones al diámetro y longitud de la cámara de fermentación (Figura 1).

El sistema de mezclado (Figura 2) consta de un impulsor de flecha hueca sobre el cual se montaron 3 impulsores de 12 cm de longitud que permiten mantener el sustrato sólido en movimiento. Así mismo, la flecha hueca tiene perforaciones de 3 mm de diámetro espaciadas cada (5 cm) y sobre un extremo se encuentra conectada a una bomba que alimenta aire (0 - 6 L·min⁻¹). De esta forma el mismo sistema de mezclado también funciona como un sistema de distribución de aireación que permite tener condiciones más homogéneas dentro de la cámara

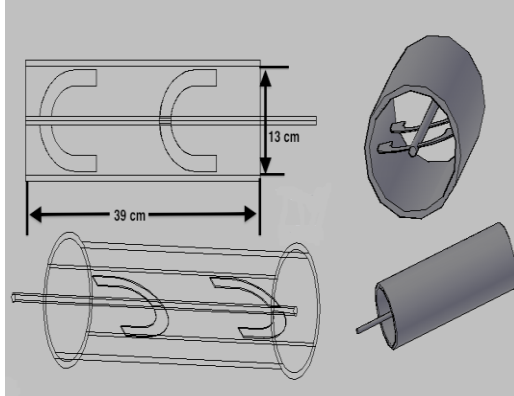


Figura 1.- Dimensiones del cuerpo de la cámara de fermentación del bioreactor cilíndrico para FES

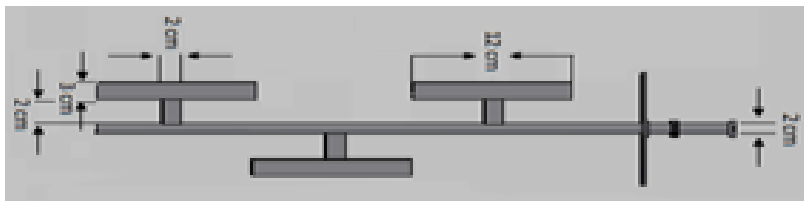


Figura 2.- Dimensiones del impulsor del sistema de agitación. La flecha es hueca y tiene perforaciones de 3 mm cada cm para distribuir el flujo de aire alimentado.

En la Figura 3 se muestra el diseño general del prototipo (3A) y una fotografía del reactor ya construido y completamente ensamblado (3B). El material con el que se construyó fue en acero inoxidable y el sistema de mezclado está complementado con un motor de velocidad variable (0 – 100 rpm) de ¼ de HP.

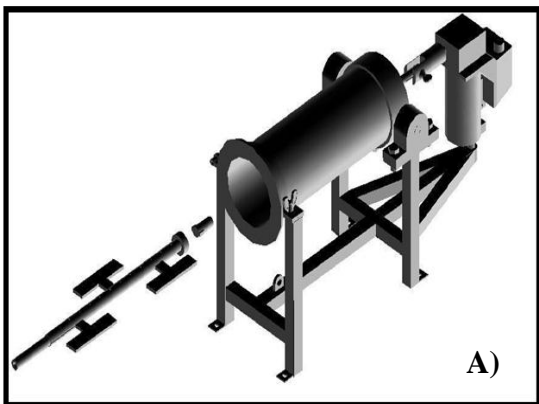


Figura 3.- Vista completa del diseño (A) y fermentador construido y ensamblado (B).

3.2 Evaluación del funcionamiento del bioreactor.

En la Figura 4 se muestran las cinéticas de actividad proteolítica obtenidas en la evaluación del funcionamiento del bioreactor diseñado. Las fermentaciones se realizaron empleando el mismo tamaño de malla (<10) y flujo de aire ($6 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$), pero con diferentes velocidades de mezclado (10 y 20 rpm).

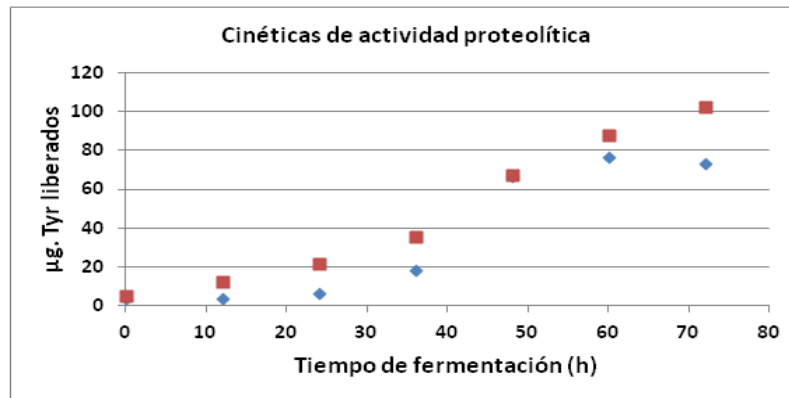


Figura 4.- Cinéticas de producción de proteasa obtenidas en el bioreactor diseñado. Condiciones empleadas: tamaño de partícula de sustrato malla<10, flujo de aire de $6 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, velocidad de giro 10 rpm y 20 rpm.

En los resultados obtenidos se puede observar que durante todo el tiempo de fermentación la actividad proteolítica obtenida a 10 rpm siempre es mayor con respecto a la obtenida a 20 rpm, esto puede deberse al esfuerzo de corte generado a 20 rpm y que provoca daño en el micelio producido. Así mismo, el máximo de actividad proteolítica para la velocidad de mezclado de 20 rpm se obtiene a las 60 horas, siendo esta de $\approx 80 \mu\text{g Tyr liberados}$, mientras que para 10 rpm no se observa un máximo dentro del tiempo de duración de la fermentación (70 horas).

Con respecto a la humedad del sustrato, no se observó una pérdida significativa ($< 2 \%$) entre los valores iniciales ($\approx 67 \% \pm 1$) y finales ($\approx 66 \% \pm 0.6$), lo que permite disminuir los gradientes en el rendimiento de producción de proteasa. Con respecto al comportamiento del pH del sustrato, durante la fermentación no se realizó un control de dicha variable, por lo que ésta sí sufrió un cambio drástico al incrementar de 6.5 a 10.2. Dicho cambio de pH, está asociado a la acumulación de metabolitos en el mismo sustrato. Así mismo se comprobó mediante un ensayo microscópico que no existió contaminación microbiana.

Finalmente, al comparar la actividad proteolítica obtenida con el bioreactor diseñado con lo obtenido a nivel laboratorio en matraces, se obtuvo un decremento de alrededor de un 15 %, esto sin realizar ningún tipo de optimización.

4.- CONCLUSIONES

Las cinéticas de actividad proteolítica obtenidas en las corridas experimentales demostraron que el bioreactor diseñado fue eficiente en cuanto a su funcionamiento en el desarrollo de fermentaciones en estado sólido.

5.- REFERENCIAS

- [1] Durand, A., De la Bruise, D. & Blanchere, H. 1988. Laboratory scale bioreactor for solid state proceses. *J. Biotechnol.* 8:59
- [2] Raimbault, M. & Alazard, D. 1980. Culture method to study fungal growth in solid state fermentation. *Europ. J. Appl. Microb. Biotech.* 9:199
- [3] Rathbun, B.L. & Shuler, M.L. 1983. Heat and mass transfer effects in static solid-substrate fermentation: Desing of fermentation chambers. *Biotechn. Bioeng.* 25:929
- [4] Roussos, S., Raimbault, M., Prebios, J.P. & Lonsane, B.K. 1993. A large scale solid state fermenter: Desing and evaluation. *Appl. Biochem. Biotechn.* 42:37
- [5] Sangsurasak, P., Nopharatana, M. & Mitchell, D.A. 1996. Mathematical modeling of the growth of filamentous fungi in solid state fermentation. *J. Scientific Ind. Res.* 55:333
- [6] Sangsurasak, P., Srinophakhum, T. & Mitchell, D.A. 1997. Mathematical modeling development of packed bed bioreactors in solid state fermentation. *Kasetsart. J. Nat. Sc.* 31:452
- [7] Valiño, E., Elías, A., Alvarez, E. & Albelo, N. 1996. Caracterización del funcionamiento de la cámara de fermentación para la producción de Saccharina. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 30:67
- [8] Dustet, J.C. 1999. Contribución al estudio y al desarrollo de la fermentación en estado sólido de materiales lignocelulósicos. Tesis Dr. Cs. Facultad de Ingeniería Química. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”. Ciudad de la Habana, Cuba
- [9] Elías, A., Lezcano, O., Lezcano, P., Cordero, J. & Quintana, J. 1990. Reseña descriptiva sobre el desarrollo de una tecnología de enriquecimiento proteico en la caña de azúcar mediante fermentación en estado sólido. *Rev. Cubana de Cienc. Agríc.* 24:1
- [10] Gutierrez, M. 1995. Contribución al estudio del modelado matemático de la fermentación sólida de hongos filamentosos en soportes inertes. Tesis Dr. Cs. Universidad Autónoma de México. Iztapalapa, México
- [11] Previos, J., Raimbault, M. & Roussus, S. 1985. Zymotis a solid state fermenter. *Brevet Francais* 85.085595

DISEÑO DE EXPERIMENTO PARA DETERMINAR EL TIEMPO ÓPTIMO DEL PROCESO DEL COMPRESOR DE LA PLANTA MYCOM MAYEKAWA

José Luis Coronel Trujillo*¹, Victoria Yazmín Atala Campos¹, Sabina Leyva Adán¹, Viridiana García Navarro¹, José Tapia Toral¹.

¹Departamento de Ingeniería Industrial. Instituto Tecnológico de Zacatepec.
Calzada Tecnológico No. 27, Zacatepec Morelos. CP. 62780

Resumen

La simulación es una herramienta poderosa en el modelado de sistemas de manufactura, sin embargo cuando se simula, sin haber hecho previamente el diseño experimental, los resultados obtenidos no son más que cifras que representan y nos dicen muy poco acerca del sistema real bajo estudio. No basta simular por simular. Aspectos como: los factores, sus niveles, el número de corridas, la cantidad de réplicas, los recursos de tiempo y dinero disponibles así como la variabilidad, validación y optimización, son determinantes en la simulación y tienen que ver con lo que es el "Diseño del Experimento". En este artículo se describe la aplicación de la simulación de sistemas con fines de modelado mediante el enfoque del Diseño Experimental. El sistema de manufactura está integrado por todas las líneas de maquinado incluido el ensamble del compresor. El sistema está integrado por dos centros inteligentes de maquinado, dos unidades de ensamble, 50 máquinas de control numérico, estaciones de prueba del compresor, estaciones de pintura y estaciones de embalaje. Se hizo el plan estratégico del diseño de experimento, usando el diseño factorial 2^3 para tres factores y dos niveles cada uno. Los factores seleccionados son: buffer de llegada, buffer de inventario en proceso y tiempos de maquinado. Los niveles son: capacidad mínima y capacidad máxima de los buffers y tiempo mínimo y máximo de maquinado. La respuesta del sistema es el tiempo promedio en el sistema (TPS). El análisis estadístico se hizo mediante el software SGPLUS. La conclusión fue que de los tres factores, el de mayor influencia en el TPS fue el tiempo de maquinado, le siguió el de los buffers de inventario en proceso y con insignificante influencia el de los buffers de llegada. Se simuló mediante software PASION del Dr. Stanislaw Raczynski.

Abstract

The simulation is a powerful tool in the system shaped one of manufacture, nevertheless when it is simulated, without having done before the experimental design, the obtained results are not any more than numbers that they represent and say to us very little it brings study over of the royal low system. Aspects as: the factors, his levels, the number of bullfights, the quantity of replies, the available resources of time and money as well as the variability, validation and optimization, are determinant in the simulation and have to see with what is the " Design of the Experiment ". In this article the application of the system simulation is described by ends of shaped by means of the approach of the Experimental Design. The system of manufacture is integrated by all the lines of schemed included assemble of the compressor. The system is integrated by two intelligent centers of schemed, two units of assemble, 50 machines of numerical control, stations of test of the compressor, stations of painting and stations of packing. There was made the strategic plan of the design of experiment, using the design factorial 2^3 for three factors and two levels each one. The selected factors are: buffer of arrival, buffer of inventory in process and times of schemed. The levels are: minimal capacity and maximum capacity of the buffers and minimal and maximum time of schemed. The response of the system is the average time in the system (TPS). The statistical analysis was done by means of the software SGPLUS. The conclusion was that of three factors, that of major influence in the TPS was the time of schemed, followed that of the inventor buffers in process and with insignificant influence that of the buffers of arrival. PASSION of the Dr. Stanislaw Raczynski was simulated by means of software.

1. Modelo de ensamble

El modelo que representa al subsistema de la línea de **ensamble**, está hecho en el Software **PASION**. Lo integran tres archivos: el primero, **ensamble.blw**, representa al diagrama de bloques de la línea de ensamble; en el segundo, **funpr_ensamble.pas** en el que están contenidos todos los procedimientos y funciones de los tiempos de maquinado, en lenguaje pascal; en el tercero, **semaf_ensamble.pas** están entre otros el procedimiento **svop** que describe el control del flujo de piezas en los bloques servidores y buffers. Las funciones que integran el archivo **funpr_ensamble.pas** son: **tensam1(x)**, **tensam2(x)**, **tlavado(**

source), tprepara(source), tfuncio(source), treviso(source), tpaire(source), tacabado(source), tpintura(source) y tembalaje(source).

Datos de ensamble de compresores reciprocantes

La cantidad de ensambles de compresor producidos durante el año 2002, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Línea de ensamble del compresor recíprocante

MODELO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2 A	2	2	1	1	0	3	5	2	3	0	0	1	20
4 A	4	6	4	6	3	5	6	7	2	6	7	3	59
6 A	8	5	3	2	5	9	5	9	7	3	7	0	63
8 A	3	0	0	0	4	1	3	0	2	3	0	3	19
4 B	4	2	2	2	6	4	5	3	5	4	5	3	45
6 B	6	6	0	7	3	1	11	7	5	8	6	3	63
8 B	5	3	3	4	4	4	6	4	0	5	1	1	40
6 2 B	1	0	1	0	0	4	1	0	0	0	0	1	8
4 2 A	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
6 2 B	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5

Utilizando el módulo estadístico del software Promodel se encuentra que la distribución de probabilidad ajustada para cada tipo de compresor, como se muestra en Tabla 2.

Tabla 2. Ajuste de distribución del compresor recíprocante.

AJUSTE DE DISTRIBUCIONES	
TIPO DE COMPRESOR	DISTRIBUCIÓN
2 A	EXPONENCIAL(0,1.67) COPRE / MES
4 A	UNIFORME(2,7) COMPRE / MES
4 B	UNIFORME(2,6) COMPRE / MES
6 A	UNIFORME(0,9) COMPRE / MES
6 B	UNIFORME(0,11)COMPRE / MES
8 A	EXPONENCIAL(0,1.58) MON / MES
8 B	UNIFORME(0,6) COMPRE / MES
4 2 A	EXPONENCIAL(0,0.333) COMPRE / MES
6 2 A	EXPONENCIAL(0,0.417) COMPRE / MES
6 2 B	EXPONENCIAL(0,0.667) COMPRE / MES

En base a la tabla 2 y aplicando la fórmula $t = 1 / \lambda$ se obtienen los tiempos entre llegadas de cada uno de los compresores en las unidades de minutos / compresor, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Tiempo entre llegadas a maquinado del compresor recíprocante.

COMPRESOR	TIEMPOS ENTRE LLEGADAS
2 A	t = 6467.0659 min / compresor
4 A	t = 1542.8571 min / compresor
4 B	t = 1800.0000 min / compresor
6 A	t = 1200.0000 min / compresor
6B	t = 981.81818 min / compresor
8 A	t = 6835.4430 min / compresor
8 B	t = 1800.0000 min / compresor
42 A	t = 32432.432 min / compresor
62 A	t = 25899.281 min / compresor
62 B	t = 16191.9040 min / compresor

La cantidad de requerimientos para ensamble se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Requerimientos para ensamble.

TABLA DE REQUERIMIENTOS PARA ENSAMBLE										
PARTES	2A	4A	4B	6A	6B	8A	8B	42A	62A	62B
MONOBLOCKS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PISTONES	2	4	4	6	8	8	6	6	6	6
CABEZAS	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
CIGÜÑALES	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
POLEAS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

TAPAS	1	2	2	3	3	4	4	3	3	3
BIELAS	2	4	4	6	6	8	8	6	6	6
CAMISAS	2	4	4	6	6	8	8	6	6	6
AUTOMÁTICOS	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
VÁLVULAS Y CODOS	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
VARIOS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tiempos de servicio y ensambles

Los tiempos del proceso de ensamble se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Tiempos de servicio y ensambles.

TIEMPOS DE ENSAMBLE											
TIPO	LAV-ADO	PREP	ENSM1	ENSM2	TUBERIA	FUNCIO	REVICION	PRU.AIRE	ACABADO.	PINTURA	TIEMPO TOTAL
2 A	60	30	60	30	60	90	90	60	120	60	660
4 A	90	30	60	45	90	90	90	60	120	60	735
4 B	120	40	90	60	60	90	135	120	150	180	1045
6 A	90	30	60	90	90	90	120	60	120	120	870
6 B	120	40	90	120	120	90	135	120	150	180	1165
8 A	105	30	60	90	110	90	120	60	120	120	905
8 B	120	40	90	150	120	90	135	120	150	180	1195
42 A	105	30	60	90	110	90	120	120	120	120	965
62 A	105	30	60	90	110	90	120	120	120	120	965
62 B	120	40	90	150	120	90	135	120	150	180	1195

Cantidad de compresor maquinado de cada tipo

La cantidad de compresores producidos durante los años 2000 y 2001, se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Producción de compresores.

COMPRESOR	PRODUCCIÓN DE COMPRESOR	
	2000	2001
2 A	10	11
4 A	48	89
6 A	106	111
8 A	94	12
4 B	83	90
6 B	212	33
8 B	95	46
62 B	66	36
42 A	17	10
62 A	15	8

Al correr el modelo, el código generado se guarda en **INITSIM0_ensamble.pas**; los parámetros del modelo se pueden ver en el archivo **ensamble.txt**; Los resultados y estadísticos se pueden ver en el archivo **FINSTA.TXT**.

2. Modelo de la planta con todas las líneas independientes

El modelo que representa a la planta con las líneas ligadas, está hecho en el Software **PASION**. Lo integran tres archivos: el primero, **pmlind.blw**, representa al diagrama de bloques de la líneas de la planta; en el segundo, **funpr_pmlind.pas**, están contenidos todos los procedimientos y funciones de los tiempos de maquinado, en lenguaje pascal; en el tercero, **semaf_pmlind.pas** están entre otros el procedimiento **svop** que describe el control del flujo de piezas en los bloques servidores y buffers. Las funciones del archivo **funpr_pmlind.pas** son las funciones de los modelos anteriores. Los datos son los mismos que los de los modelos anteriores. Al correr el modelo, el código generado se guarda en **INITSIM0, pmlind.pas**; los parámetros del modelo se pueden ver en el archivo **pmlind.txt**; Los resultados y estadísticos se encuentran en el archivo **FINSTA.TXT**

3. Modelo de la planta con todas las líneas ligadas

El modelo que representa a la **planta con las líneas ligadas**, está hecho en el Software **PASION**, como se observa en la **Figura 1**. Lo integran tres archivos: el primero, **pmllig.blw**, representa al diagrama de bloques de la líneas de la planta; en el segundo, **funpr_pmllig.pas**, están contenidos todos los procedimientos y funciones de los tiempos de maquinado, en lenguaje Pascal; en el tercero, **semaf_pmllig.pas** están entre otros el procedimiento **svop** que describe el control del flujo de piezas en los bloques servidores y buffers.

Las funciones del archivo **funpr_pmllig.pas** son las funciones de los modelos anteriores. Los datos son los mismos que la de los modelos anteriores. Al correr el modelo, el código generado se guarda en **INITSIM0, pmllig.pas**; los parámetros del modelo se pueden ver en el archivo **pmllig.txt**; Los resultados y estadísticos se encuentra en el archivo **FINSTA.TXT**.

4. Modelado del sistema

El modelado del sistema de manufactura consiste en determinar la estructura del modelo que cumpla con el criterio predefinido deseado de nivel de funcionamiento, grado de mejoramiento y optimización.

Esto puede hacerse mediante el uso de técnicas, como las analíticas o como el uso de la simulación. En este caso el análisis se hará con el modelo ligado **pmllig.blw**, de la planta Mycom Mayekawa.

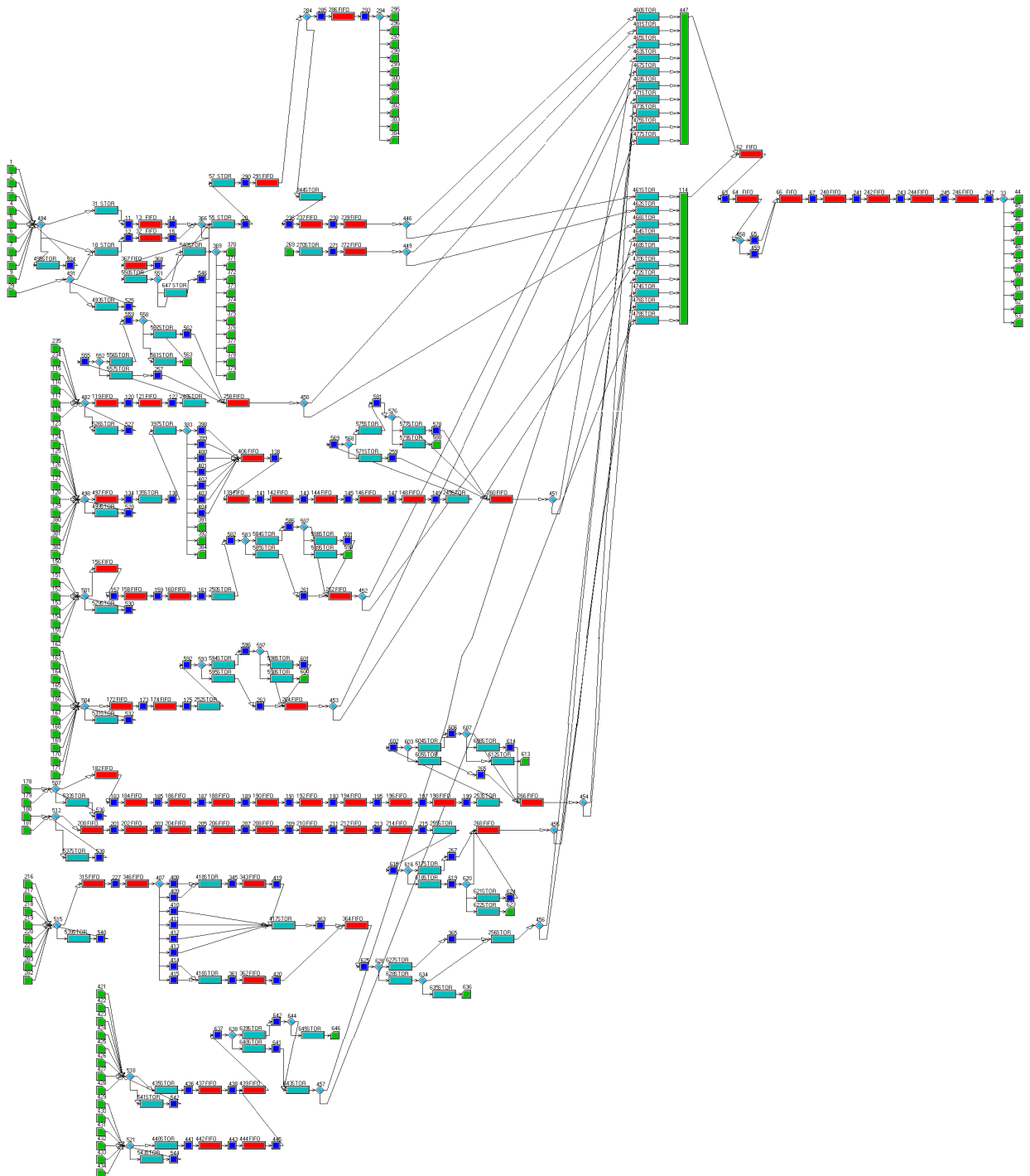


Figura 1. Modelo de simulación del sistema de manufactura y ensamble de de Mycom Mayekawa

4.1 Diseño experimental

Los diseños factoriales son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores k para estudiar el efecto conjunto de estos sobre una o más variables de respuesta. Cada factor tiene dos o tres niveles. Los niveles pueden ser cuantitativos (valores de temperatura, presión, tiempo, etc.) o cualitativos (dos máquinas, dos operadores, los niveles inferior y superior de un factor o, quizás, la ausencia o presencia de un factor). El diseño factorial es una de las herramientas matemáticas y estadísticas más útiles para el diseño de sistemas de manufactura. Se debe tener cuidado en la selección del modelo matemático y estadístico. En este caso se utiliza el **diseño factorial 2^3 del modelo estadístico lineal, el modelo de análisis de varianza de tres factores** es:

$$y_{ijl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

En donde:

$i=1,2,\dots,a$ niveles del factor A

$j=1,2,\dots,b$ niveles del factor B

$k=1,2,\dots,c$ niveles del factor C

$l=1,2,\dots,n$ observaciones ó réplicas del experimento; se requiere ($n \geq 2$)

Grados de libertad de los tres factores son: (a-1), (b-1), (c-1) respectivamente.

Grados de libertad de las interacciones de los factores son: AB, (a-1)(b-1); AC, (a-1)(c-1); BC, (b-1)(c-1); ABC, (a-1)(b-1)(c-1).

Grados de libertad del error es: $abc(n-1)$ y del total es: $abcn-1$.

De acuerdo al modelo factorial 2^3 tenemos 8 posibles combinaciones. Se tienen los **tres factores siguientes: buffers de llegadas, buffer de inventario en proceso y los tiempos de maquinado**; para cada uno de los factores se tienen los valores mínimo y máximo. Las variables respuestas son: **el tiempo promedio en el que un compresor sale del sistema (TPS), el costo del modelo y el número de compresores producidos**. Como lo muestra la tabla 7.

Tabla 7. Las ocho combinaciones del modelo factorial 2^3 .

FACTOR BUFFERS DE LLEGADAS	FACTOR BUFFERS DE INVENTARIO EN PROCESO	FACTOR TIEMPO DE MAQUINADO	VARIABLE RESPUESTA TIEMPO PROMEDIO EN EL SISTEMA	VARIABLE RESPUESTA COSTO	COMPRESORES
Mínimo	Mínimo	Mínimo			
Mínimo	Mínimo	Máximo			
Mínimo	Máximo	Mínimo			
Mínimo	Máximo	Máximo			
Máximo	Mínimo	Mínimo			
Máximo	Mínimo	Máximo			
Máximo	Máximo	Mínimo			
Máximo	Máximo	Máximo			

Hipótesis

Probar la igualdad de las medias de los tratamientos ó combinaciones.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j \text{ por lo menos para un par de } (i, j)$$

Probar qué efectos de los tratamientos ó combinaciones son cero.

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = \tau_6 = \tau_7 = \tau_8 = 0$$

$H_1: \tau_i \neq 0$ por lo menos para una i .

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = 0$$

$H_1: \beta_j \neq 0$ por lo menos para una j .

$$H_0: \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma_4 = \gamma_5 = \gamma_6 = \gamma_7 = \gamma_8 = 0$$

$H_1: \gamma_k \neq 0$ por lo menos para una k .

A continuación se definen los valores mínimos y máximos de los factores x (capacidad de buffer de llegadas), y y (capacidades de buffer de inventario en proceso) y z (tiempos de proceso), para cada línea de maquinado de acuerdo a los formatos de las tablas 8, 9 y 10.

Tabla 8 Valores máximos y mínimos de los buffer de llegada en cada una de las líneas.

FACTOR X CAPACIDAD DE BUFFERS DE LLEGADA QUEUES Y STORAGES			
NÚMERO DE BLOQUE QUEUE Ó STORAGE EN CADA LÍNEA DE MAQUINADO	DESCRIPCIÓN	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO

Tabla 9. Valores máximos y mínimos de los buffer de inventario en proceso.

FACTOR Y CAPACIDAD DE BUFFER DE INVENTARIO EN PROCESO BLOQUES QUEUES Y STORAGE			
NÚMERO DE BLOQUE QUEUE Ó STORAGE EN CADA LÍNEA DE MAQUINADO	DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD MÍNIMA	CAPACIDAD MÁXIMA

Tabla 10. Valores máximos y mínimos de los tiempos de maquinado en las líneas.

FACTOR Z TIEMPOS DE MAQUINADO BLOQUES SERVER Y ENSAMBLE			
NÚMERO DE BLOQUE SERVER Ó ENSAMBLE EN CADA LÍNEA DE MAQUINADO	DESCRIPCIÓN	TIEMPO MÁXIMO	TIEMPO MÍNIMO

4.2 Experimento

En este caso el experimento consiste en realizar la simulación de cada una de las 8 combinaciones del diseño del experimento de la tabla 6. Deben ejecutarse 5 réplicas por cada de las 8 combinaciones, en total 40 corridas. Cada modelo fue corrido con un tiempo de 250000 minutos que representa el tiempo trabajado de un año en la planta. Se utiliza el software PASION (1995).

Combinación 1: mínimo, mínimo, mínimo

El modelo que representa a la combinación 1, es **co1.blw** y los archivos requeridos son: **funprcorrida3.pas** y **semafcorrida2.pas**. Al correr el modelo, el código generado se guarda en

INITSIM0, co1.pas; los parámetros del modelo se pueden ver en el archivo **co1.txt**; Los resultados y estadísticos se pueden ver en el archivo **FINSTA.TXT**

Combinación 2: mínimo, mínimo, máximo

El modelo que representa a la combinación 2, es **co2.blw** y los archivos requeridos son: **funprcorrida3.pas** y **semafcorrida2.pas**. Al correr el modelo, el código generado se guarda en **INITSIM0, co2.pas**; los parámetros del modelo se pueden ver en el archivo **co2.txt**; Los resultados y estadísticos se encuentran en el archivo **FINSTA.TXT**.

Combinación 3: mínimo, máximo, mínimo

El modelo que representa a la combinación 3, es **co3.blw** y los archivos requeridos son: **funprcorrida3.pas** y **semafcorrida2.pas**. Al correr el modelo, el código generado se guarda en **INITSIM0, co3.pas**; los parámetros del modelo se pueden ver en el archivo **co3.txt**; Los resultados y estadísticos se pueden ver en el archivo **FINSTA.TXT**.

Combinación 4: mínimo, máximo, máximo

El modelo que representa a la combinación 4, es **co4.blw** y los archivos requeridos son: **funprcorrida3.pas** y **semafcorrida2.pas**. Al correr el modelo, el código generado se guarda en **INITSIM0, co4.pas**; los parámetros del modelo se pueden ver en el archivo **co4.txt**; Los resultados y estadísticos se pueden ver en el archivo **FINSTA.TXT**.

Combinación 5: máximo, mínimo, mínimo

El modelo que representa a la combinación 5, es **co5.blw** y los archivos requeridos son: **funprcorrida2.pas** y **semafcorrida2.pas**. Al correr el modelo, el código generado se guarda en **INITSIM0, co5.pas**; los parámetros del modelo se pueden ver en el archivo **co5.txt**; Los resultados y estadísticos se pueden ver en el archivo **FINSTA.TXT**.

Combinación 6: máximo, mínimo, máximo

El modelo que representa a la combinación 6, es **co6.blw** y los archivos requeridos son: **funprcorrida2.pas** y **semafcorrida2.pas**. Al correr el modelo, el código generado se guarda en **INITSIM0, co6.pas**; los parámetros del modelo se pueden ver en el archivo **co6.txt**; Los resultados y estadísticos se pueden ver en el archivo **FINSTA.TXT**.

Combinación 7: máximo, máximo, mínimo

El modelo que representa a la combinación 7, es **co7.blw** y los archivos requeridos son: **funprcorrida2.pas** y **semafcorrida2.pas**. Al correr el modelo, el código generado se guarda en **INITSIM0, co7.pas**; los parámetros del modelo se pueden ver en el archivo **co7.txt**; Los resultados y estadísticos se pueden ver en el archivo **FINSTA.TXT**.

Combinación 8: máximo, máximo, máximo

El modelo que representa a la combinación 8, es **co8.blw** y los archivos requeridos son: **funprcorrida2.pas** y **semafcorrida2.pas**. Al correr el modelo, el código generado se guarda en **INITSIM0, co8.pas**; los parámetros del modelo se pueden ver en el archivo **co8.txt**; Los resultados y estadísticos se pueden ver en el archivo **FINSTA.TXT**.

Resultados del experimento de simulación

A continuación, en la Tabla 11, se muestran los valores de cada una de las 5 réplicas y de cada una de las 8 combinaciones. En donde la “i” significa mínimo o inferior; la “s” significa máximo o superior.

Tabla 11. Costo, Tiempo promedio y número de compresores para cada una de las ocho combinaciones.

RÉPLICAS	BUFFER DE LLEGADA	BUFFERS DE INVENTARIO EN PROCESO	TIEMPO DE MAQUINADO	COSTO DEL MODELO	TIEMPO PROMEDIO EN EL SISTEMA	COMPRESORES OBTENIDOS
1*	Xs	Ys	Zs	45105993.05	29168.56	323
2	Xs	Ys	Zs	46157277.62	28630.00	323
3	Xs	Ys	Zs	45652691.33	29683.99	315
4	Xs	Ys	Zs	44679519.69	30265.42	327
5	Xs	Ys	Zs	46043320.49	30006.40	321
6*	Xs	Ys	Zi	41147829.29	26676.35	320
7	Xs	Ys	Zi	40757650.35	26880.11	315
8	Xs	Ys	Zi	41575840.52	25837.41	325
9	Xs	Ys	Zi	41637345.22	27986.44	307
10	Xs	Ys	Zi	42697837.70	26396.02	309
11*	Xs	Yi	Zs	37434913.75	26803.18	323
12	Xs	Yi	Zs	37018038.18	26539.61	329
13	Xs	Yi	Zs	36750919.25	27146.41	330
14	Xs	Yi	Zs	37873953.62	25968.40	299
15	Xs	Yi	Zs	37492268.54	26285.68	313
16*	Xs	Yi	Zi	33077819.74	15156.83	316
17	Xs	Yi	Zi	32580882.97	15156.83	316
18	Xs	Yi	Zi	33605984.11	14450.14	329
19	Xs	Yi	Zi	32869332.70	14557.48	332
20	Xs	Yi	Zi	32719941.96	14638.99	329
21*	Xi	Ys	Zs	45492944.91	26941.56	329
22	Xi	Ys	Zs	45489806.39	27389.30	339
23	Xi	Ys	Zs	43370054.99	28175.87	337
24	Xi	Ys	Zs	43869694.07	28184.30	310
25	Xi	Ys	Zs	44735597.02	27285.37	333
26*	Xi	Ys	Zi	39560316.64	26853.00	307
27	Xi	Ys	Zi	39321356.70	26027.71	347
28	Xi	Ys	Zi	40016847.24	25774.62	326
29	Xi	Ys	Zi	40727332.60	25566.33	330
30	Xi	Ys	Zi	40896226.17	26122.05	318
31*	Xi	Yi	Zs	36817063.06	14848.00	330
32	Xi	Yi	Zs	36682418.39	14683.48	344
33	Xi	Yi	Zs	36754994.08	14578.41	346
34	Xi	Yi	Zs	36718843.32	13504.49	355
35	Xi	Yi	Zs	36724718.41	14693.92	339
36*	Xi	Yi	Zi	32883845.53	30367.75	328
37	Xi	Yi	Zi	32424031.60	29336.52	361
38	Xi	Yi	Zi	32397597.84	30314.27	329
39	Xi	Yi	Zi	32980341.71	30187.21	398
40*	Xi	Yi	Zi	32789765.93	29288.68	341

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO DE SIMULACIÓN

Variable respuesta del costo: Prisma de errores cuadrados (Figura 2), tabla de anova (Tabla 12), Pareto (Figura 3), superficies de respuesta *xy*, *yz* y *xz* (Figura 4, Figura 5, Figura 6).

Prisma de errores cuadrados para variable de respuesta del costo

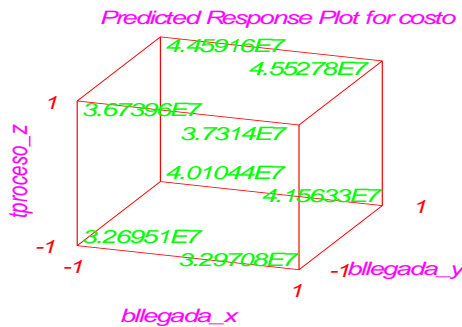


Figura 2. Errores del costo al cuadrado de los tres factores *x*, *y* y *z*.

Tabla de anova para la variable de respuesta Costo

Tabla 12. Análisis de anova de los factores **x,y** y **z** para la variable respuesta costo.
ANOVA for costo - Planta Mycom Mayekawa de Mexico.

Effect		Sum of Squares	DF	Mean Sq.	F-Ratio	P-value
A:x	+ block	6.58172E12	1	6.5817E12	19.19	0.0001
B:y	+ block	6.42705E14	1	6.4271E14	1873.5	0.0000
C:z	+ block	1.77228E14	1	1.7723E14	516.62	0.0000
AB	+ block	1.49177E12	1	1.4918E12	4.35	0.0451
AC	+ block	3.13623E10	1	3.1362E10	0.09	0.7675
BC	+ block	2.55569E09	1	2.5557E09	0.01	0.9327
ABC	+ block	4.21768E11	1	4.2177E11	1.23	0.2758
Total error		1.09776E13	32	3.4305E11		

Total (corr.) 8.39440E14 39

R-squared = 0.986923

R-squared (adj. for d.f.) = 0.984062

Comparar los valores de la columna “ F-Ratio ” con el valor $F_{\alpha, v1 \text{ numerador}, v2 \text{ denominador}}$, $F_{0.05, 1,32}=4.125$, valor obtenido de la tabla IV, página 544, del libro “Diseño y Análisis de experimentos”, Douglas C. Montgomery, Grupo Editorial Ibero América.

Regla:

Si $F\text{-Ratio} > F_{0.05, 1,32}$ entonces se rechaza H_0 y se concluye que las medias del error generadas por cada una de las combinaciones ó tratamientos difieren a un nivel de significancia del 5%, es decir, que los factores **x**, **y** y **z**, afectan significativamente a la variable de respuesta **costo**.

Si $F\text{-Ratio} < F_{0.05, 1,32}$ entonces se acepta H_0 y se concluye que las medias del error generadas por cada una de las combinaciones ó tratamientos no difieren a un nivel de significancia del 5%, es decir, que los factores **x**, **y** y **z**, no afectan significativamente a la variable de respuesta **costo**.

Lo anterior debe aplicarse por separado para cada factor así como para cada interacción.

Debido a que $F\text{-Ratio} > F_{0.05, 1,32} = 4.125$ se rechaza H_0 para los factores **x**, **y**, **z**, la interacción **xy**.

Lo que significa que medias del error generadas por cada una de las combinaciones ó tratamientos difieren a un nivel de significancia del 5%, es decir, que los factores **x**, **y** y **z**, afectan significativamente a la variable de respuesta **costo**.

Para los casos de las interacciones **yz**, **xz**, **xyz**, se tiene que $F\text{-Ratio} < F_{0.05, 1,32} = 4.125$ por lo que H_0 se acepta y se dice que las interacciones no afectan la variable de respuesta **costo**.

De acuerdo al diagrama de Pareto, se observa como influye cada uno de los factores y/o sus interacciones en la variable de respuesta compresores.

Pareto para variable de respuesta de costo

De acuerdo con el diagrama de Pareto se tiene que la afectación de los factores y sus interacciones se da en orden siguiente: **y**, **z**, **x**, **xy**, **xyz**, **xz**, **yx**.

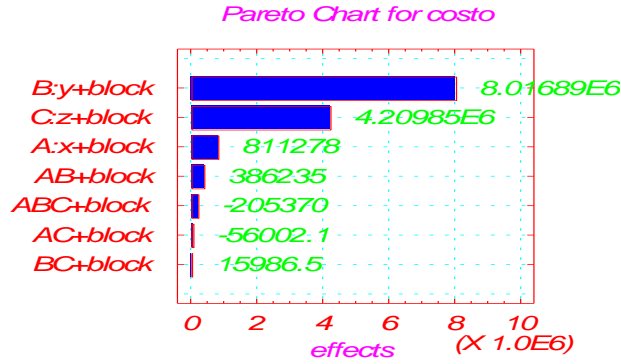


Figura 3. Diagrama de Pareto del error al cuadrado de la variable respuesta costo.

Puede ser también posible mediante el uso del concepto “Superficie de Respuesta” para determinar los valores de los **factores x, y, z** con los que la variable respuesta Costo se “Optimiza”.

Superficie de respuesta que relaciona al **factor x** y al **factor y** con la respuesta **costo**

Es posible obtener un valor de variable respuesta costo menor cuando se usan el valor mínimo de los **factores x e y**.

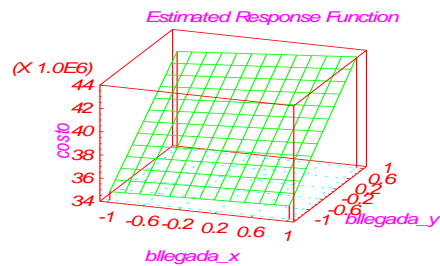


Figura 4. Superficie de respuesta de los errores al cuadrado del costo y los factores **x** y **y**.

Superficie de respuesta que relaciona al **factor y** y al **factor z** con la respuesta **costo**

Es posible obtener un valor de variable respuesta costo menor cuando se usan el valor mínimo de los **factores y e z**.

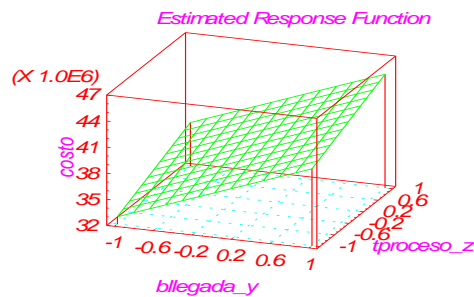


Figura 5. Superficie de respuesta de los errores al cuadrado del costo y los factores **y** y **z**.

Es posible obtener un valor de variable respuesta **costo** menor cuando se usan el valor mínimo de los **factores y y z**.

Es posible obtener un valor de variable respuesta costo menor cuando se usan el valor

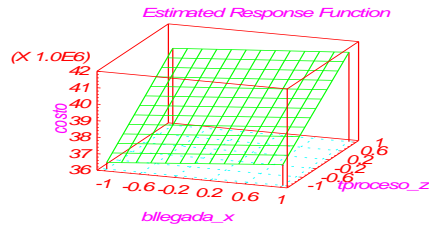


Figura 6. Superficie de respuesta de los errores al cuadrado del costo y los factores **x** y **z**.

mínimo de los **factores x** e **z**.

Variable respuesta del tiempo promedio en el sistema, tps :

Prisma de errores cuadrados (Figura 7), tabla de anova (13), Pareto (Figura 8), superficies de respuesta **xy**, **yz** y **xz** (Figura 9, Figura 10, Figura 11).

Prisma de errores cuadrados para variable de respuesta tps

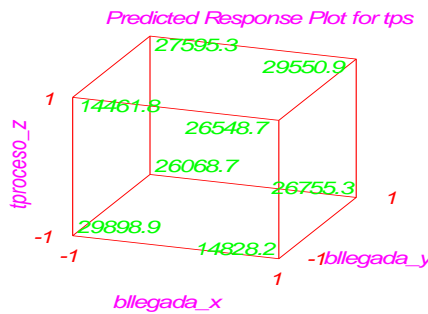


Figura 7. Errores al cuadrado de los factores **x**, **y**, y **z**.

Tabla de anova para la variable de respuesta tps

Tabla 13. Análisis de anova de los factores **x,y** y **z** para la variable respuesta tps.
ANOVA for tps - Planta Mycom Mayekawa de Mexico.

Effect	Sum of Squares	DF	Mean Sq.	F-Ratio	P-value
A:bllegada_x + block	72968	1	7.2968E4	0.23	0.6413
B:bllegada_y + block	367014298	1	3.6701E8	1146.75	0.0000
C:tproceso_z + block	229136	1	2.2914E5	0.72	0.4127
AB + block	19781874	1	1.9782E7	61.81	0.0000
AC + block	505047372	1	5.0505E8	1578.03	0.0000
BC + block	40388961	1	4.0389E7	126.20	0.0000
ABC + block	418885120	1	4.1889E8	1308.82	0.0000
Total error	10241555	32	3.2005E5		

Total (corr.)

1.36166E9

39

R-squared = 0.992479

R-squared (adj. for d.f.) = 0.990833

Comparar los valores de la columna “F-Ratio ” con el valor $F_{\alpha, v1 \text{ numerador}, v2 \text{ denominador}} = F_{0.05, 1, 32} = 4.125$, valor obtenido de la tabla IV, página 544, del libro “Diseño y Análisis de experimentos”, Douglas C. Montgomery, Grupo Editorial Iberoamérica .

Regla:

Si $F\text{-Ratio} > F_{0.05, 1, 32}$ entonces se rechaza H_0 y se concluye que las medias del error generadas por cada una de las combinaciones o tratamientos difieren a un nivel de significancia del 5%, es decir, que los factores x, y y z, afectan significativamente a la variable de respuesta **tps**.

Si $F\text{-Ratio} < F_{0.05, 1, 32}$ entonces se acepta H_0 y se concluye que las medias del error generadas por cada una de las combinaciones o tratamientos no difieren a un nivel de significancia del 5%, es decir, que los factores x, y y z, no afectan significativamente a la variable de respuesta **tps**.

Lo anterior debe aplicarse por separado para cada factor así como para cada interacción.

Dado que $F\text{-Ratio} > F_{0.05, 1, 32} = 4.125$ se rechaza H_0 para los factores y; las interacciones xy, xz, yz, xyz. Lo que significa que medias del error generadas por cada una de las interacciones de las combinaciones ó tratamientos difieren a un nivel de significancia del 5%, es decir, afectan significativamente a la variable de respuesta **tps**.

Para los casos de x, z se tiene que $F\text{-Ratio} < F_{0.05, 1, 32} = 4.125$ por lo que H_0 se acepta y se dice que los factores no afectan la variable de respuesta **tps**.

De acuerdo al diagrama de Pareto, se observa como influye cada uno de los factores y/o sus interacciones en la variable de respuesta compresores.

Pareto para variable de respuesta de tps

De acuerdo con el diagrama de Pareto se tiene que la afectación de los factores y sus interacciones se da en orden siguiente: xz, xyz, y, yz, xy, z, x.

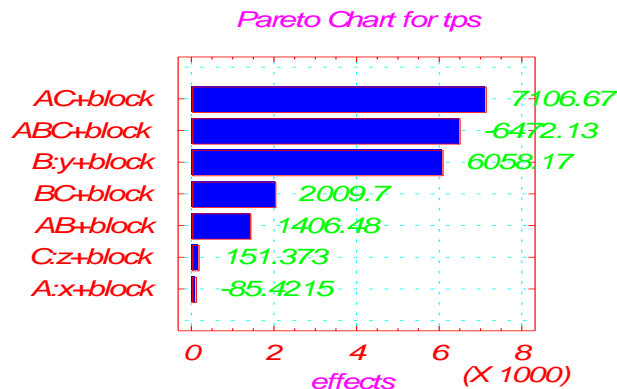


Figura 8. Diagrama de Pareto del error al cuadrado de la variable respuesta tps.

Puede ser también posible mediante el uso del concepto “Superficie de Respuesta” para determinar los valores de los factores x, y, z con los que la variable respuesta tiempo promedio en el sistema, TPS se “Optimiza”.

Superficie de respuesta que relaciona al factor x y al factor y con la respuesta tps

Es posible obtener un valor de variable respuesta costo menor cuando se usan el valor mínimo de los factores **x** e **y**.

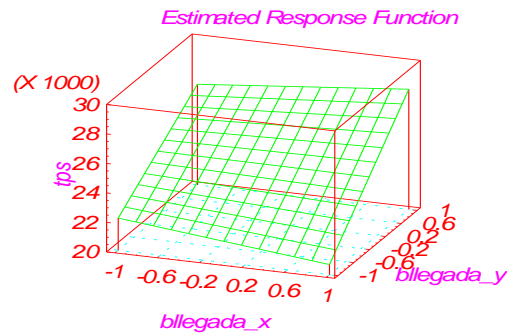


Figura 9. Superficie de respuesta para los factores **x** y **y**.

Superficie de respuesta que relaciona al factor **y** y al factor **z** con la respuesta **tps**

Es posible obtener un valor de variable respuesta costo menor cuando se usan el valor mínimo de los factores **y** , **z**.

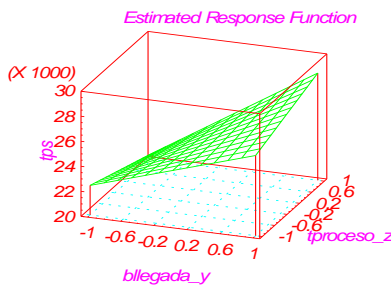


Figura 10 Superficie de respuesta para los factores **y** y **z**.

Superficie de respuesta que relaciona al factor **x** y al factor **z** con la respuesta **tps**

Es posible obtener un valor de variable respuesta costo menor cuando se usan el valor mínimo de los factores **x** e **z**.

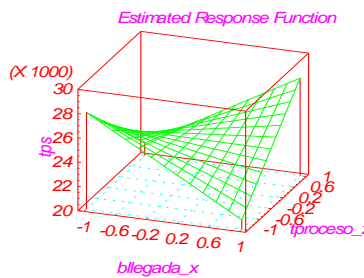


Figura 11 Superficie de respuesta para los factores **x** y **z** para la variable tps.

Variable respuesta del compresore :

Prisma de errores cuadrados(Figura 12),tabla de anova(Tabla 14), Pareto (Figura 13), superficies de respuesta xy, yz y xz(Figura 14, Figura 15, Figura 16).

Prisma de errores cuadrados para la variable de respuesta compresores

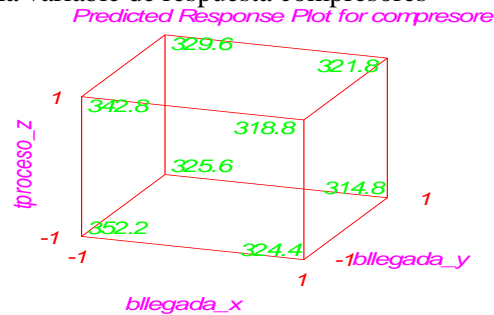


Figura 12. Errores del costo al cuadrado por los tres factores de los factores x , y y z para la variable respuesta de compresores.

Tabla de anova para la variable respuesta Compresore

Tabla 14. Análisis de anova de los factores x,y y z para la variable respuesta compresores.

ANOVA for compresore – Planta Mycom Mayekawa de México.

Effect	Sum of Squares	DF	Mean Sq.	F-Ratio	P-value
A:blllegada_x + block	3097.60000	1	3097.6000	15.60	0.0004
B:blllegada_y + block	1345.60000	1	1345.6000	6.78	0.0139
C:tproceso_z + block	10.00000	1	10.0000	0.05	0.8262
AB + block	688.90000	1	688.9000	3.47	0.0717
AC + block	28.90000	1	28.9000	0.15	0.7094
BC + block	422.50000	1	422.5000	2.13	0.1544
ABC + block	0.40000	1	0.4000	0.00	0.9650
Total error	6353.60000	32	198.5500		
Total (corr.)	11947.5000	39			

R-squared = 0.468207

R-squared (adj. For d.f.) = 0.351877

Comparar los valores de la columna “F-Ratio ” con el valor $F_{\alpha, v1 \text{ numerador}, v2 \text{ denominador}} = F_{0.05, 1, 32} = 4.125$, valor obtenido de la tabla IV, página 544, del libro “Diseño y Análisis de experimentos” , Douglas C. Montgomery, Grupo Editorial Iberoamérica.

Regla:

Si $F\text{-Ratio} > F_{0.05, 1, 32}$ entonces se rechaza H_0 y se concluye que las medias del error generadas por cada una de las combinaciones ó tratamientos difieren a un nivel de significancia del 5%, es decir, que los factores x, y y z, afectan significativamente a la variable de respuesta **compresore**.

Si $F\text{-Ratio} < F_{0.05, 1, 32}$ entonces se acepta H_0 y se concluye que las medias del error generadas por cada una de las combinaciones ó tratamientos no difieren a un nivel de significancia del 5%, es decir, que los factores x, y y z, no afectan significativamente a la variable de respuesta **compresore**.

Lo anterior debe aplicarse por separado para cada factor así como para cada interacción.

Dado que $F\text{-Ratio} > F_{0.05, 1, 32} = 4.125$ se rechaza H_0 para los factores x, y ; y la interacción xy (que no se rechaza a un nivel del 5% sino del 10%). Lo que significa que las medias del error generadas por cada una de las interacciones de las combinaciones ó tratamientos difieren a un nivel de significancia del 5%, es decir, afectan significativamente a la variable de respuesta **compresore**.

Para los casos de z y las interacciones xz, yz, xyz se tiene que $F\text{-Ratio} < F_{0.05, 1, 32} = 4.125$ por lo que H_0 se acepta y se dice que los factores significativamente a un nivel del 5% no afectan la variable de respuesta **compresore**.

De acuerdo al diagrama de Pareto, se observa como influye cada uno de los factores y/o sus interacciones en la variable de respuesta **compresores**.

Pareto para variable de respuesta de compresore

De acuerdo con el diagrama de Pareto se tiene que la afectación de los factores y sus interacciones se da en orden siguiente: x, y, xy, yz, xz, z, xyz .

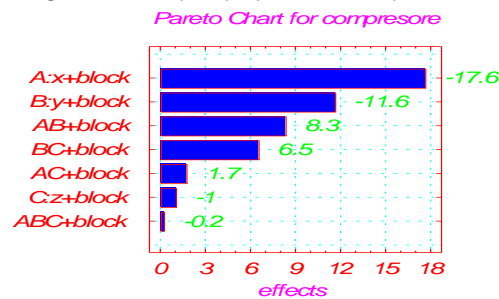


Figura 13. Diagrama de Pareto del error al cuadrado de la variable respuesta compresore.

Puede ser también posible mediante el uso del concepto “ Superficie de Respuesta ” para determinar los valores de los factores x, y, z con los que la variable respuesta **número de compresores** se Óptimiza ”.

Superficie de respuesta que relaciona al factor x y al factor y con la respuesta **compresores**

Es posible obtener un valor de variable respuesta **compresore** mayor cuando se usan el valor mínimo del factor x y el valor mínimo del factor y .

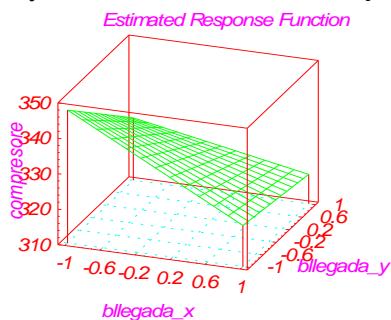


Figura 14. Superficie de respuesta para los factores x y y para la variable respuesta compresore.

Superficie de respuesta que relaciona al **factor y** y al **factor z** con la respuesta **compresores**

Es posible obtener un valor de variable respuesta costo menor cuando se usan el valor mínimo de los **factores x e z**.

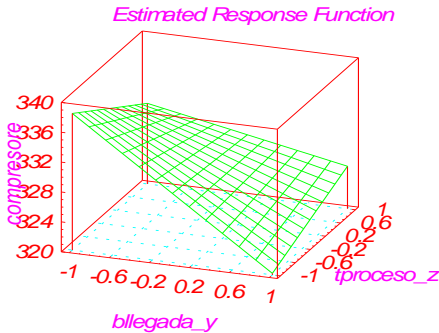


Figura 15. Superficie de respuesta para los factores **y** y **z** para la variable respuesta compresore.

Superficie de respuesta que relaciona al **factor x** y al **factor z** con la respuesta **compresores**

Es posible obtener un valor de variable respuesta costo menor cuando se usan el valor mínimo de los **factores x e y**.

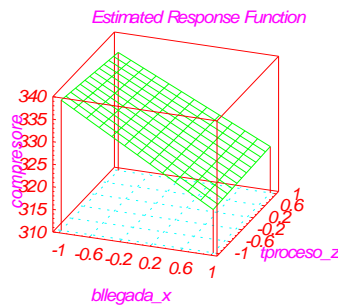


Figura 16 Superficie de respuesta para los factores **x** y **z** para la variable respuesta compresore.

4.4 Experiencia y conclusión

La aplicación de la simulación para analizar y modelar el sistema de la planta Mycom Mayekawa proporciona las siguientes experiencias:

- El diseño de sistemas de manufactura mediante el modelado por simulación es una actividad que requiere del conocimiento profundo de diseño de experimentos. No se puede afirmar que se diseña o modela un sistema si esta actividad no es realizada mediante el uso de la simulación.
- Es mediante el uso del diseño de experimentos como es posible determinar cuál ó cuáles de los factores y en que magnitud influyen en el valor de la variable o variables respuestas del sistema.
- Mediante el uso de la técnica de Superficies de Respuestas es posible determinar los valores de las variables de los factores para obtener el valor cercano al óptimo de la(s) variables de respuestas.

d) Mediante el uso de la simulación son ilimitadas las posibilidades de optimizar o en el mejor de los casos mejorar el funcionamiento de un sistema de manufactura. Sin alterar físicamente la estructura del sistema, mediante el uso del modelo de la planta se puede aumentar, eliminar estaciones de trabajos, buffers, transportes, parámetros, etc. con el fin de encontrar la mejor estructura de la planta.

e) En el estudio de simulación y modelado del sistema de Manufactura de Mycom Mayekawa fue posible el conocimiento de la magnitud en las que cada uno de los factores o tratamientos (buffer de llegada, buffer de inventario en proceso y tiempos de proceso) afectan el valor de cada una de las variables respuestas del sistema (costo de la planta, tiempo promedio en el sistema y número de compresores). Mediante la superficie de respuesta es posible la visualización de los valores de cada uno de los pares de factores para alcanzar el mejor valor de la variable de respuesta.

f) La aplicación aunque fue muy exitosa, demuestra la complejidad de la actividad de simulación cuando pretende ser realizada por personas que no tienen conocimientos profundos de programación o de lenguajes de simulación,; pero si una elevada necesidad de realizar la actividad de simulación para analizar o modelar la planta, línea o celda que tienen a su cargo. De ahí la necesidad de una herramienta capaz de resolver este problema.

4.5 Necesidad de una especificación estándar para sistemas de manufactura.

En los apartados anteriores se mostró la aplicación de la simulación para analizar un sistema real. De la experiencia y conclusión anterior se pueden destacar las observaciones siguientes:

a) El software PACION, al igual otros lenguajes (GPSS, SLAMII, XCELL, SIMFACTORY, SIMPROCESS, PACIONW, PROMODEL, TAYLOR II, ARENA), tiene su propia metodología para describir los eventos del proceso de manufactura.

b) Se requiere de varios meses para dominar un lenguaje de simulación.

c) Se necesita emplear un especialista altamente calificado en el uso de un software en particular.

d) Existe siempre el peligro de que el investigador intente ajustar la realidad que enfrenta en una empresa a las limitaciones y características del software que está usando.

e) Por lo anterior se hace evidente la necesidad del diseño de una Especificación Estándar que permita modelar por simulación cualquier planta productiva de la industria metalmeccánica, maquiladora ó similares, de tal forma que el trabajo de simulación sea independiente de cualquier software en particular, eliminando la programación de este tipo de trabajos.

f) Una especificación estándar que permita, hacer la aplicación de diversos lenguajes de simulación “transparente” para el usuario y facilitarle la aplicación en cualquiera de los más usados lenguajes y paquetes de simulación de manera más eficiente y segura.

Bibliografía

1.Charles R. Harrel, Robert E. Bateman, Thomas J. Gogg, Jack R. A. MottSystem Improvement Using Simulation, Editorial Fourth Edition.

2.Juan Prawda, “Modelos y Tecnicas de Investigación de Operaciones, tomo II”, Editorial Limusa.

Manual de Usuario, Guía de Referencia, del Software PROMODEL.

Manual de usuario, Guía de Referencia, del software PACION

Stanislaw Raczynski, “Simulación de sistemas”, Editorial Limusa

www.raczynski.com/pn/pn.htm;

www.raczynski.com/pn/gms.htm;

www.raczynski.com/pn/bluesss.htm

OBTENCIÓN DE HARINA DEL *Pithecellobium dulce* (guamúchil) PARA LA REALIZACIÓN DE UN PRODUCTO COMESTIBLE

Ma. de Guadalupe Bautista Mundo¹, Monserrat Guadarrama Ramírez¹, Diana Hernández Jahen¹ Dra. Zully Vargas Galarza¹, Ing. Carlos Felipe Cano Ochoa¹

1.- Instituto Tecnológico de Zacatepec. Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica: blooson_star@hotmail.com
Calzada Tecnológico No. 27, Zacatepec, Morelos, México. C.P. 62780

RESUMEN

En este proyecto se utiliza el *Pithecellobium dulce* que es un fruto no estudiado ampliamente, para la obtención de una harina rica en nutrientes. Se realizaron triplicados de cada prueba para cerciorarse de que no existiera un error mayor en los datos obtenidos y se compararon con datos adquiridos en bibliografías con respecto a estudios realizados a las harinas comerciales (Maíz, trigo, soya). Se observó que en cuanto a los niveles de proteína se tiene un mayor porcentaje en la harina de guamúchil que en las harinas comerciales. También se determinó que la cantidad de gluten es adecuada para la elaboración de pan. El estudio que le realicé a el *Pithecellobium dulce* es de gran relevancia, anteriormente no se habían realizado trabajos de carácter alimenticio con este fruto y así poderle dar un enfoque innovador para enriquecer una serie de productos alimenticios.

Palabras Claves: *Pithecellobium dulce*, perennifolio, caducifolios, gluten, gliadina, glutenina.

ABSTRACT

In this project there is in use the sweet pithecellobium that is a fruit not studied widely, for the obtaining of a rich flour in nutrients. triplicados de cada prueba para cerciorarse de que no existiera un error mayor en los datos obtenidos and were compared with information acquired in bibliographies with regard to studies realized to the commercial flours (Maize, wheat, soy bean). I observe that as for the levels of protein a major percentage has in the flour of guamúchil that in the commercial flours. Also was observed that the quantity of gluten is adapted for the production of bread. The study that I realize to the sweet pithecellobium is of great relevancy, previously there had not been realized works of food character by this fruit and this way to be able to give him an innovative approach to enrich a series of food products.

Introducción

Los componentes arbóreos de la región de América central reciben un uso múltiple, resultan de especial interés por su potencial contribución en la solución de diversos problemas, tal es el caso del *Pithecellobium dulce* (guamúchil) árbol de uso múltiples, como es, la producción de madera, fruto, alimento forrajero, sustancias medicas, ayuda a la fijación del nitrógeno atmosférico, extracción de goma que da un mucílago similar a la goma arábica, es apto para su uso como leña y carbón, el arillo carnosos agridulce que rodea la semilla es muy apreciado en algunos lugares

como complemento alimenticio, es rico en proteínas, por lo tanto es un alimento de suma importancia.[1]

La harina que es un polvo fino que se obtiene de la molienda del [cereal](#) y de otros alimentos ricos en [almidón](#), dentro de ellos destacan especialmente la proteína y el gluten, este produce un hinchamiento que permite la formación de una masa modelable y resistente, sobre todo por los gases producidos en la fermentación, estos son obtenidos por las levadura, por eso desde ya hace varios años se han ido implementando en el mercado grandes variedades de harinas desde las harinas habituales obtenidas de diversos cereales hasta harinas de leguminosas, semillas, frutos o harinas hechas de origen animal aunque la más habitual es harina de [trigo](#) (cereal proveniente de [Europa](#), elemento habitual en la elaboración del [pan](#)), también se hace harina de [centeno](#), de [cebada](#), de [avena](#), de [maíz](#) (cereal proveniente del [continente americano](#)) o de [arroz](#) (cereal proveniente de [Asia](#)). Existen harinas de [leguminosas](#) ([garbanzos](#), [judías](#)). [7]

Considerando la gran variedad de harinas existentes en el mundo en este trabajo se realizó harina a base de una leguminosa como lo es el *Pithecellobium Dulce* (guamúchil) ya que esta leguminosa es nativa de América central. Para este estudio se evaluaron algunos parámetros como porcentaje de nitrógeno proteico, gluten, ceniza, humedad y aceites, del cual hasta la fecha la investigación de sus propiedades nutricionales no han sido estudiadas a grandes rasgos, se pretende realizar un producto alimenticio que pueda llegar a satisfacer las necesidades de la dieta del consumidor.

Metodología

En este trabajo se realizaron los siguientes métodos con sus respectivos materiales

- **Secado del grano**

- ❖ **Material utilizado**

- ✓ Horno modelo EON383240

- **Molienda y tamizado**

- ❖ **Material utilizado**

- ✓ Molino eléctrico cabrera modelo R-14
 - ✓ Licuadora blakandeker de 6 velocidades.
 - ✓ Tamices Test Sieve Ende Cotts (1000, 500, 300,250, y 200 mallas)
 - ✓ Vibrador eléctrico FIIC S.A de C.V.

- **Determinación de humedad**

- ❖ **Material utilizado**

- ✓ Balanza granetaria

- **Obtención del contenido proteico por el método de kjeldalh**

- ❖ **Material y reactivos utilizado para la digestión**

- ✓ 50 mL de ácido Sulfúrico al 0.1 N
 - ✓ 5 g de mezcla selénica
 - ✓ 5 g de muestra orgánica (harina)
 - ✓ Perlas de ebullición
 - ✓ Mantilla
 - ✓ Matraz kjeldalh

- ❖ **Material y reactivos utilizado para la destilación**
 - ✓ 50 mL de hidróxido de sodio
 - ✓ 300 mL de agua destilada
 - ✓ 50 ml de ácido bórico (4%)
 - ✓ Indicador rojo de metilo (rojo tashiro).
 - ❖ **Material y reactivos utilizado para la titulación**
 - ✓ Bureta 50mL
 - ✓ Ácido clorhídrico al 0.1 N
- **Determinación de minerales**
 - ❖ **Material utilizado para la determinación de minerales**
 - ✓ Capsula de porcelana
 - ✓ Desecador
 - ✓ Mechero bunsen
 - ✓ 5 g de muestra orgánica
 - ✓ Mufla
 - ✓ Espátula
- **Determinación de aceite (método Soxhlet)**
 - ❖ **Material y reactivos utilizado para la determinación de aceite**
 - ✓ Mantilla
 - ✓ Soporte universal
 - ✓ Matraz de bola esmerilado de 500 mL
 - ✓ Equipo Soxhlet
 - ✓ Tapones
 - ✓ Mangueras
 - ✓ Termómetro
 - ✓ Perlas de ebullición
 - ✓ 200 mL de hexano como disolvente
 - ✓ Cartucho de celulosa
 - ✓ 5 g de muestra orgánica
- **Determinación de fibra**

En la realización de este método no se utilizaron materiales debido a que se determinó el contenido de fibra por diferencia de todos los métodos realizados.
- **Determinación de gluten**
 - ❖ **Material utilizado para la determinación de gluten**
 - ✓ Vaso de precipitado de 500 mL
 - ✓ Espátula
 - ✓ Pañalina
 - ✓ Capsula de porcelana
 - ✓ 20 g de muestra orgánica
 - ✓ 200 mL de agua destilada

Resultados

- Humedad encontrada en la harina

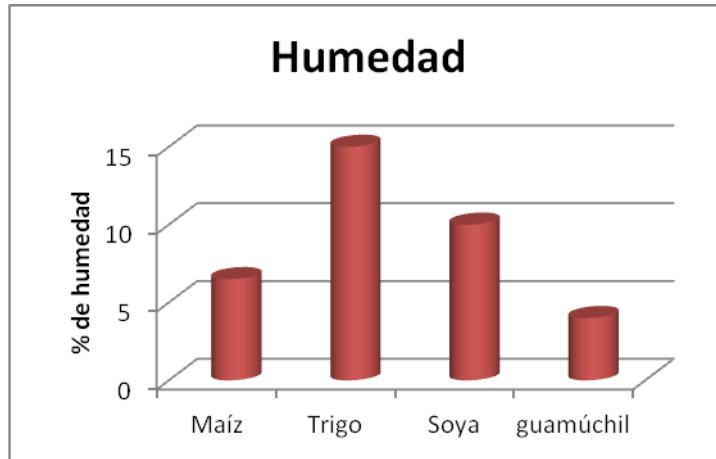


Figura 1.- Grafica del contenido de humedad

- Contenido proteico en la harina

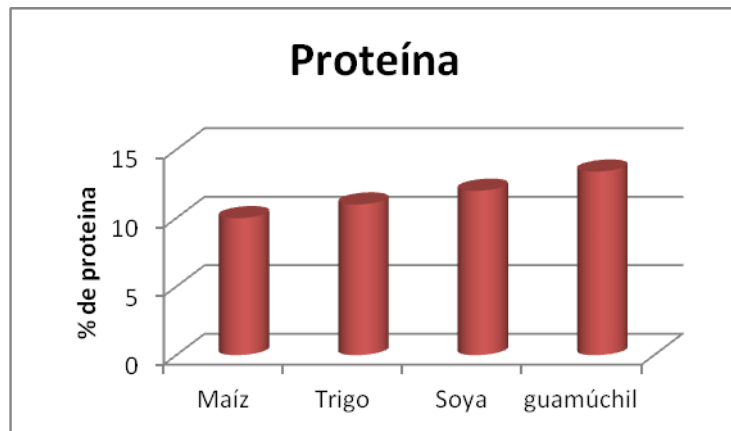


Figura 2.- Grafica del contenido proteico

- Contenido de aceite en la harina

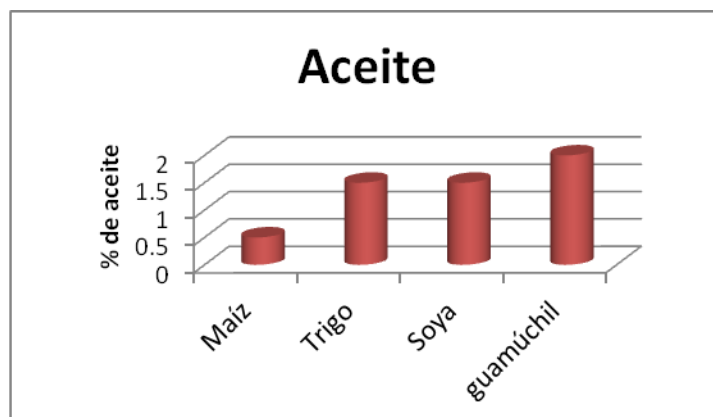


Figura 3.- Grafica de contenido de aceite en la harina

- Contenido de fibra encontrada en la harina

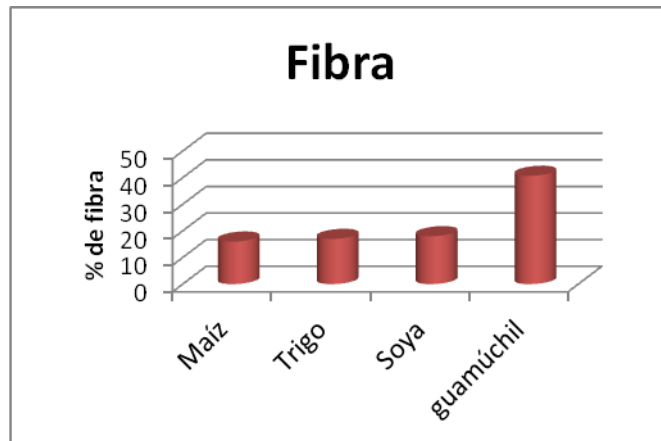


Figura 4.- Grafica del contenido de fibra encontrado

- Contenido de gluten en la harina

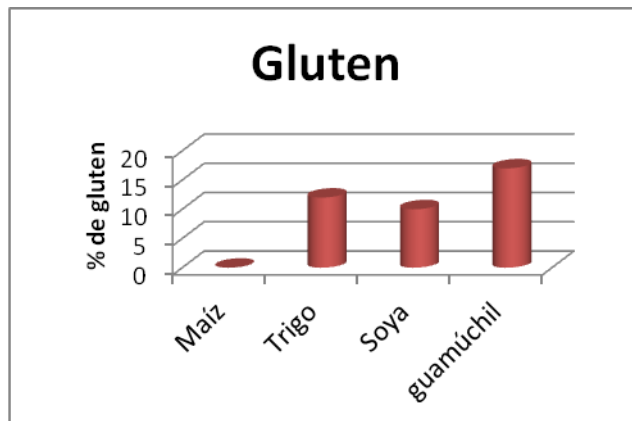
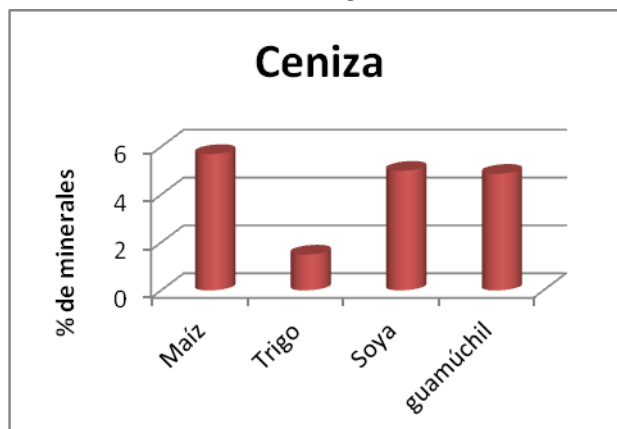


Figura 5.- Grafica del contenido de gluten encontrado en la harina



- Contenido de minerales en la harina

Figura 6.- Grafica del contenido de ceniza encontrados en la harina

- ☉ En las pruebas realizadas se obtuvieron los siguientes datos: 13.40 % proteína, 2% aceite, 5% minerales, 17% gluten, 40.72% fibra, 4% humedad.
- ☉ Estos resultados muestran que la harina obtenida es mejor que las harinas comerciales.
- ☉ Es ideal para la elaboración de pan por el índice de gluten.
- ☉ Al producto final se le realizaron pruebas sensoriales, las cuales determinaron

Un sabor que podría ser mejorado y así satisfacer el paladar del consumidor. Algunas de las recomendaciones expresadas en este trabajo es la búsqueda de combinaciones con otras harinas para realizar un producto con mejor contenido proteico así como el añadirle un antioxidante, y buscar nuevas maneras de mejorar las concentraciones de su sabor en el producto en cuestión.

Bibliografía

- 1.- Información generada por las Ingenieras: Olga Lidia Reyes y Rosalba Juárez; División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Publicado en: [Especie de la semana](#) Por: [Reforestamos México](#)
- 2.- Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos. D. PEARSON. Butterworth and Co. (Publishers) Ltd. London. Inglaterra. 1981
- 3.- Monroy, R. y H. Colín. 2004. El guamúchil *pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth, un ejemplo de uso múltiple. Madera y bosques
- 4.-Argueta, A.; L. Cano y E. Rodarte. 1994. Atlas de las plantas de la medicina tradicional mexicana II. Instituto nacional indigenista (INI). México. . Benerjee, A. y M. Jain. 1988. Studies on *pithecellobium dulce* seed oil. *Fitoterapia. Italia* 59(5):405.
- 5.- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1986. Crecimiento y rendimiento de especies para leña en áreas secas y húmedas de América Central: Informe técnico 79. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- 6.-Díaz, J. 1977. Usos de las plantas medicinales de México. Instituto mexicano para el estudio de las plantas medicinales, A.C., (IMEPLAM). Ed. Libros de México, S.A. México. p 297.
- 7.-Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado. Luis A. Bello Pérez, Perla Osorio Díaz, Carmen Núñez, Octavio Paredes López. CEPROBI. IPN.
- 8.-Tecnología de alimentos. Charley H. Editorial Limusa, S.A México D.F. 2001
- 9.- Análisis de alimentos. Métodos analíticos de control de calidad. Ed. Acribia. R. Lees
- 10.- <http://www.brechas.org/index.php/Guamúchil>
- 11.-http://www.mexicoforestal.gob.mx/nuestros_arboles.php?id=3
- 12.-<http://www.diariodemorelos.com/index.php>

OBTENCIÓN DE UN EXTRACTO DE PLANTAS CON POSIBLE ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA, EVALUADOS EN LA BACTERIA *Escherichia coli*

**Jorge H. Betanzos Rodríguez, Pamela Heredia del Orbe' Sergio D. Hurtado García
Dra. Zully Vargas-Galarza, Dr. René Salgado-Delgado**

Instituto Tecnológico de Zacatepec, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. Calzada Tecnológico No.
27 Zacatepec Morelos, C.P. 62780, del_lor612@hotmail.com

RESUMEN

En la actualidad el uso indiscriminado de agentes antimicrobianos ha derivado en la generación de microorganismos resistentes, lo que ha conducido a la síntesis de fármacos más potentes. Sin embargo, una desventaja de estos nuevos fármacos radica en la posibilidad de generar reacciones secundarias en los pacientes. En este sentido existe un gran interés en el uso de plantas empleadas en la medicina tradicional mexicana, o con aplicaciones potenciales. Entre estas plantas se encuentran Hierbabuena, Quelite, Toronjil, Manrubio y Guamúchil. Para estudiar la capacidad antimicrobiana de esas plantas, se debe obtener un extracto y evaluar la inhibición del crecimiento microbiano, ya sea por pruebas como la determinación de la concentración mínima inhibitoria (CMI) o la aplicación de un antibiograma, utilizando diferentes técnicas de extracción como lixiviación y destilación al vacío aplicando el potencial inhibitorio del extracto en *Escherichia coli*.

Palabras clave: Agente antimicrobiano, antibiograma, medicina tradicional mexicana.

ABSTRACT

Nowadays we can see that resistant microorganisms have arisen, which has led to the synthesis of the most powerful medicaments. Nevertheless, a disadvantage of these new medicaments takes root in the possibility of generating secondary reactions in the patients. In this respect a great interest exists in the use of plants used in the traditional Mexican medicine, or with potential applications. Between these plants they find Mint, Pigweed, Balm-gentle, Manrubio and Guamúchil. To study the antimicrobial capacity of these plants, it is necessary to obtain an extract and evaluate the inhibition of the microbial growth, already be for tests as the determination of the minimal inhibitory concentration (CMI) or the application of an antibiograma, using different technologies of extraction as leaching and distillation to the emptiness applying the inhibitory potential of the extract in *Escherichia coli*.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de agentes con actividad antimicrobiana una de las técnicas más antiguas; los agentes antimicrobianos pueden ser compuestos sintéticos adicionados de manera intencional o que están presentes de manera natural en el alimento.

Los aceites esenciales poseen notables propiedades antimicrobianas. La mayoría de los estudios realizados sobre las propiedades antimicrobianas de los aceites esenciales se han centrado en microorganismos patógenos para el hombre, así como en aquellos presentes en los alimentos, bien por su implicación en toxiinfecciones alimentarias, bien por su capacidad para alterar las propiedades organolépticas y de conservación de los alimentos.

Diversos estudios determinan que los aceites procedentes del clavo, canela, mostaza, orégano, tomillo son los que poseen actividad antimicrobiana más acentuada.

Sin embargo aun no se ha establecido un procedimiento estandarizado en las pruebas de laboratorio in vitro. Normalmente estas pruebas consisten en la evaluación de la concentración

mínima inhibitoria (CMI) que impide el crecimiento de la bacteria enfrentando un número concreto de unidades formadoras de colonias (UFC) de la bacteria en cuestión con el agente antimicrobiano.

Considerando la gran variedad de compuestos químicos presentes en los aceites esenciales, es muy probable que su actividad antimicrobiana no sea atribuible a un mecanismo específico si no a la acción combinada de varios de ellos sobre distintas localizaciones de la célula.

Los aceites esenciales son en general ligeramente más activos frente a bacterias gram positivas que frente a las Gram negativas. Esto puede deberse a la influencia de la estructura de la pared celular y la composición de la membrana externa de la bacterias.

Generalmente los aceites esenciales que poseen notables propiedades antimicrobianas, contienen un alto porcentaje de compuestos fenólicos como el carvacol, el timol, y el eugenol.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Material. Se utilizo hoja de huamúchil como materia prima. Como reactivos se utilizaron alcohol etílico 96° (Soluciones *Fasa*), n-Hexano (reactivos *J.T.Baker*), *Agar Bilis* y *Rojo Violeta* (Medio de cultivo *Bioxon*), Medio Mac Conkey (Medio de cultivo *Bioxon*), Agar Citrato de Simmons (Medio de cultivo *Bioxon*), Caldo Rojo de Metilo Voges-Proskauer (MR-VP) (Medio de cultivo *Bioxon*) y Medio SIM (Medio de cultivo *Bioxon*), Caldo nutritivo(Medios y reactivos *Bio-bacter*).

2.2 Equipo. El instrumental utilizado fue: Equipo de análisis infrarrojo Modelo PRS, marca *MIDAC*. Espectrofotómetro UV-Visible Modelo Spectronic 20, marca *Milton Roy Company*. Incubadora Modelos FE-13, marca *Felisa*. Balanza Analítica Modelo Adventurer, marca *Ohaus*. Autoclave Modelo A-3C25X50-24, marca *TECNI-LAB*. Deshidratador de alimentos modelo FD-5, marca *MR. COFFEE*. Rotavapor modelo m-500, marca *Nahita*. Baño termostático serie BA, marca *Bunlab*. Campana microbiología, marca *Sfaty microbiological*.

2.3 Metodología.

2.3.1 Obtención de la bacteria.

2.3.1.1 Recolección de la muestra. La muestra en copro fue donada por el hospital henri Dunant. TLC: Guzmán García Israel Jesús.

2.3.1.2 Aislamiento de la bacteria. Se inculo la bacteria en medio de cultivo selectivo RVBA esto para comprobar la solo presencia de bacterias Gram negativas. Se incubo a 35 °C durante 24 hrs. Del medio de cultivo RVBA s e tomo una muestra de la colonia que respondía a las características de la bacteria *Escherichia coli* (rojas con halo turbio) y se inculo en medio Mac Conkey. Se incubo durante 18-48 horas, a 35-37 °C, en atmósfera aeróbica. [1]

2.3.1.3 Pruebas bioquímicas. Se realizó la identificación mediante pruebas bioquímicas a partir de medios diferenciales Agar Citrato de Simmons, Caldo Rojo de Metilo Voges-Proskauer (MR-VP) y Medio SIM en tubos rosca, esto para la detección de nuestra bacteria a utilizar

Escherichia coli. En todos los casos inoculando una muestra de nuestro medio de cultivo Mac Conkey e incubando a 37° durante 24-48 hrs en aerobiosis.

2.3.1.4 Mantenimiento de la bacteria. Una vez comprobada la bacteria *Escherichia coli*, se tomó una muestra de esta y se inoculó en medio de caldo nutritivo para la conservación de esta. Incubando en aerobiosis a 35-37 °C durante 24 horas. Después se almaceno a 2-8 °C.

2.3.2 Selección de las plantas. Mediante datos bibliográficos se identificaron cuales eran las posibles plantas que pudieran presentar algún tipo de efecto antimicrobiano, de las cuales se encontraron: hierbabuena, manrrubio, huamúchil, toronjil, quelite. (4)

2.3.2.1 Maceración. Todas las plantas previas a la maceración se secaron en un deshidratador de alimentos durante 2 días.

De la maceración se tomaron aros de papel filtro que fueron empapados del extracto (huamúchil, manrrubio, toronjil, quelite y hierba buena).

Previamente se preparo medio de cultivo RVBA por el método ya mencionado, se inoculo la bacteria aislada (*Escherichia coli*.) sobreponiendo sobre el medio nuestros aros con extracto.

Se hizo una comparación de los halos de inhibición de las diferentes extractos de plantas seleccionando solo las que tenían mayor efecto antimicrobiano, de las cuales, hierbabuena, huamúchil fueron las mejores.

2.3.3 Obtención del extracto

2.3.3.1 Extracción con solventes. 20 gr. de hojas de huamúchil se secaron en un deshidratador de alimentos durante 2 días, posteriormente la maceración se hizo para que hubiera un mejor contacto entre el solvente y la planta.

Se agregaron como solventes hexano y etanol en proporción (1:1) v/v

Se agregaron 20 gr. de las hojas molidas de guamúchil y se le agrego una solución de 125 ml de hexano y etanol, se dejo macerar en agitación constante a temperatura ambiente durante 5 días.

2.3.3.2 Filtración-separación solido-liquido. Se filtro la maceración mediante papel filtro con el embudo de porcelana. Esto para que nuestro extracto no tenga residuos sólidos.

2.3.3.3 Separación liquido-liquido. El extracto separado se uso en el rotavapor para separar el alcohol y el hexano de nuestro extracto.

El rotavapor es muy útil ya que este reduce el punto de ebullición de los diferentes solventes lo que es muy conveniente para no dañar los componentes activos de nuestros extractos.

3. RESULTADOS

3.1 Caracterización del extracto.

Tabla 1. Caracterización del extracto de Guamúchil.

PROPIEDAD	MEDICION
Densidad relativa	0.91 g/cm ³

La densidad se midió utilizando una micropipeta en la cual se midió un mililitro y después se peso en una balanza analítica, esto se realizo varias veces para obtener un resultado más confiable.

3.1.1 Espectroscopia infrarroja. Se utilizó la técnica ATR, alineación 13.00%, equipo marca MIDAC, modelo PP5, cristal seleniuro de cadmio.

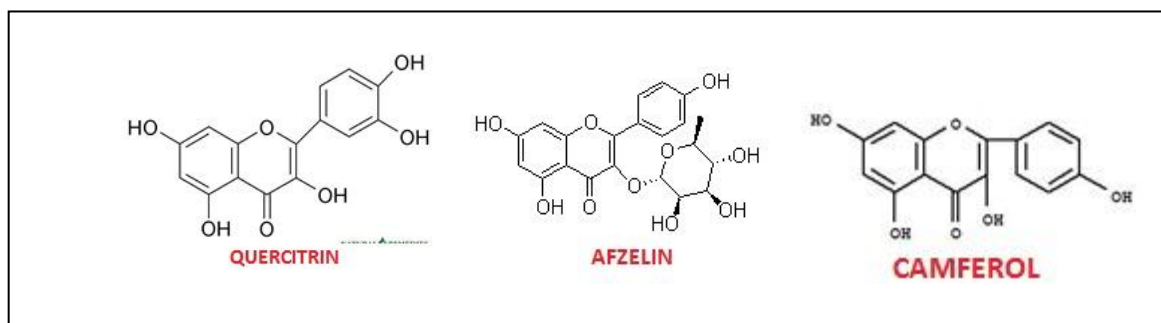


Figura 1. Estructura de flavonoides presentes en la hoja de gumúchil.

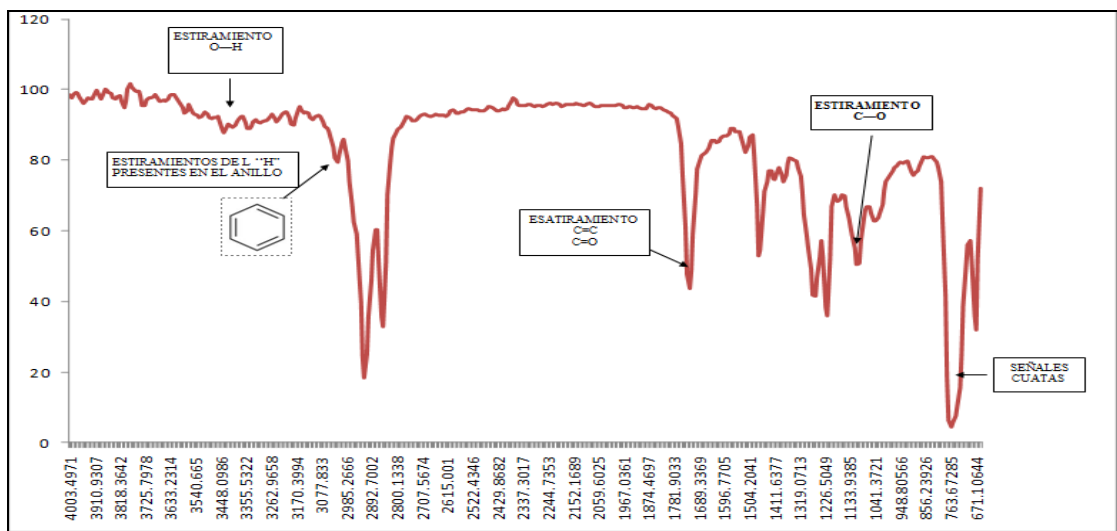


Figura 2. Caracterización del extracto de la hoja de huamúchil.

En la figura 2 se pueden observar las diferentes bandas del IFTR lo que nos indica la posible presencia de nuestras moléculas de flavonoides de la hoja de huamúchil, ya que en este se

muestran todas las señales características (grupos carbonilo, anillo aromático, alcohol) de estos compuestos (camferol, afzelin y quercitrin).

3.2 Pruebas finales.

3.2.1 Confirmación del efecto antimicrobiano.



Figura 3. Antibiograma del extracto.

En la figura 3 se muestra el antibiograma a partir del extracto extraído de la hoja del huamúchil.

3.2.1.1 Análisis del efecto antimicrobiano. En matraces de 250 mL se prepararon 50 mL del medio nutriente (caldo nutritivo) respectivo para la bacteria probando con 3 concentraciones diferentes de extracto (0.5%, 0.75%, 1%) corriendo simultáneamente una muestra testigo exenta de extracto.

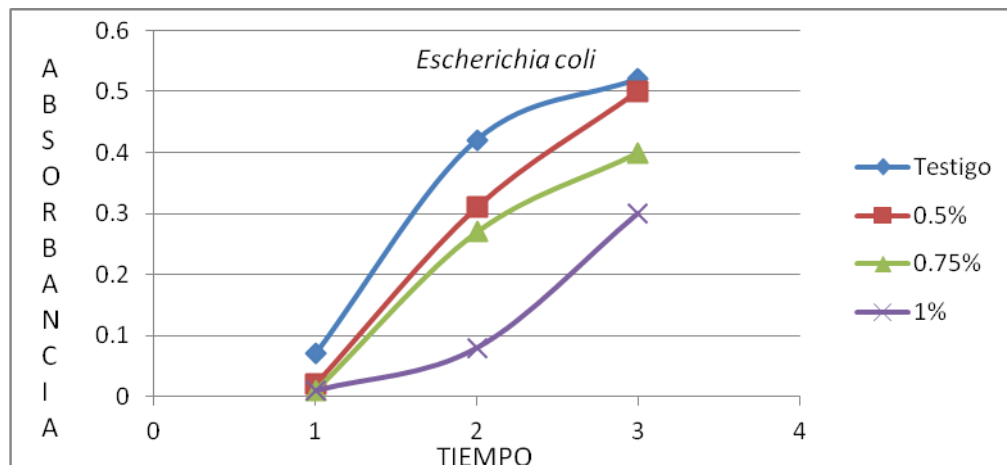


Figura 4. Curva de inhibición de *E.coli*

En la figura 4 se muestra que solo la concentración del 1% del extracto de guamúchil mostro una inhibición considerable sobre la bacteria *Escherichia coli*.

4. CONCLUSIONES

La inhibición de la bacteria *Escherichia coli* a partir del extracto de hoja de huamúchil se hizo más evidente solo a la concentración del 1%.

Lo obtención del extracto (flavonoides) de la hoja de huamúchil es una técnica fácil aunque tardada, mediante la extracción con solventes, La caracterización de nuestro extracto concuerdan con la bibliografía y se presumió su confirmación mediante espectroscopia infrarroja que muestra las señales de grupos aromáticos y carbonilos característicos de los flavonoides presentes en la hoja de huamúchil.

Debido a la mala calidad de los solventes utilizados no se pudo determinar el rendimiento de nuestra planta.

BIBLIOGRAFIA

- [1] http://www.britanialab.com.ar/espanol/catalogo_r.html
- [2] Pearson, Brock madigan, 2003, Biología de los microorganismos.
- [3] <http://www.botanical-online.com/medicinalesflavonoides.htm>
- [4] <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=&id=7280>

SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE PARARRAYOS CON DISPOSITIVO DE CEBADO “ FOREND “

José Alfonso Santana Camilo (1) / Ing. José Alfredo Gutiérrez Torres (1)/ Arturo Martínez Vélez (1).

(1) Instituto tecnológico de Zacatepec Calzada Tecnológico No. 27 Zacatepec Morelos, C.P. 62780..Email:
jasantanac@hotmail.com

RESUMEN

La protección es una medida de prevención de cualquier contingencia y/o riesgo , por lo cual es necesario establecer normas o medidas para evitarlas , en el caso de inmuebles y/o estructuras uno de estos riesgos es la incidencia de descargas atmosféricas en forma aleatoria sin tener una predicción de la densidad de impactos de las mismas , pero con conocimiento de las consecuencias que se derivan de estos fenómenos impredecibles. El presente trabajo tiene la finalidad presentar un protocolo simple y concreto del procedimiento para seleccionar un sistema de pararrayos con una tecnología especial de la marca FOREND que está revolucionando estos esquemas de protección a edificios cuyo objetivo es atraer un rayo ionizando el aire para excitar, llamar y conducir la descarga hacia tierra, de tal modo que no cause daños de cualquier índole , ya que algunos instrumentos con tecnologías electrónicas sensibles son vulnerables a las descargas eléctricas, sobre todo en el sector de las telecomunicaciones, automatización de procesos y servicios. Posteriormente se hace una validación del marco procedimental propuesto observándose la efectividad del mismo con una serie de resultados que marcan los límites de protección al seleccionar el pararrayos que satisface los radios de protección del inmueble.

Palabras clave: Sistema de protección, descargas atmosféricas y pararrayos.

ABSTRACT

Protection is a preventive measure for any contingency and /or risk, which is necessary to establish rules or measures to avoid, in the case of buildings and/or structures of these risks is the incidence of lightning at random without have a prediction of the density of impacts of the same, but with knowledge of the consequences that result from these events unpredictable. This paper aims to present a simple protocol and specific procedure to select a lightning rod system with a special technology that is revolutionizing brand FOREND these buildings protection schemes aimed at attracting lightning ionizing the air to drive, call and lead the discharge to land, so as not to cause damage of any kind, as some instruments with sensitive electronic technologies are vulnerable to electric shock, especially in the telecommunications, automation of processes and services. Then it becomes a validation of the proposed procedural framework observing its effectiveness with a range of outcomes that define the limits of protection by selecting the arrester that meets the radii of protection of the property.

Keywords: System protection, atmospheric discharges and lightning rod.

1. INTRODUCCION

El rayo es una poderosa descarga electrostática natural producida durante una tormenta eléctrica; generando un pulso electromagnético, por ello la importancia de entender el comportamiento de la electricidad y cuáles son sus aplicaciones, hoy en día es un hecho que toda persona se ve involucrada de cualquier modo con electricidad tanto en sus casas como en el trabajo. De ahí surge la importancia que tiene las protecciones tanto para el hombre como para los aparatos eléctricos y electrónicos.

Un pararrayos [1] es aquel artefacto que ubicado en lo alto de un edificio o una casa, tiene la función de dirigir al rayo junto con su enorme carga eléctrica hacia la tierra a través de un cable a fin de no causar daños.

Los pararrayos con dispositivo de cebado son el sistema de protección más eficaz, ya que puede garantizar un radio de protección variable en función de su avance de cebado, medido en microsegundos. Normalmente los fabricantes, en función del avance de cebado de cada uno de sus modelos, indican en forma de tabla el radio de cobertura, siempre cumpliendo con la normativa [2], Existen normas que fiscalizan la importancia de la puesta a tierra [2] y tienen por misión entregar parámetros a los usuarios para asegurar una buena puesta a tierra.

La toma de tierra tiene un valor muy importante en la instalación, su resistencia óhmica debe ser lo más baja posible. Para evitar incidencias, es muy importante controlar los valores de impedancia totales de la instalación y verificar que las tomas de tierra presenten un valor adecuado

Un sistema de puesta a tierra [3], consiste en la conexión de equipos eléctricos y electrónicos a tierra, para evitar que se dañen los equipos en caso de una corriente transitoria peligrosa, o también que por falta de aislamiento en uno de los conductores y al quedar en contacto con las placas de los contactos y ser tocados por alguna persona, pudiera ocasionarle lesiones o incluso la muerte.

La forma en que debe de conectarse un sistema de pararrayos a un sistema de puesta a tierra es mediante un cable continuo que esté conectado a los electrodos que tengan contacto con la tierra, es decir que este electrodo se encuentre enterrado. Según la Normativa [4] el electrodo debe de estar enterrado a 3m. de profundidad para asegurar el contacto con el terreno.

El elemento utilizado para efectuar una instalación de puesta a tierra es el electrodo, estas son varillas (generalmente de cobre o de grafito) que sean resistentes a la corrosión por las sales de la tierra, que van enterradas a la tierra a una profundidad de 3m. para servirnos como el elemento que nos disipara la corriente en la tierra.

Los electrodos son elementos metálicos que permanecen en contacto directo con el terreno, Los electrodos estarán construidos con materiales inalterables a la humedad y a la acción química del terreno. Por ello, se suelen usar materiales tales como el cobre, el acero galvanizado y el hierro zincado, Según su estructura, los electrodos pueden ser placas, picas, conductores enterrados y mallas metálicas.

El terminal aéreo de un pararrayos debe de superar como mínimo dos metros la máxima cota de la estructura a proteger [2].

El radio de cobertura será determinado por la longitud resultante desde la ubicación del terminal aéreo de captación hasta el punto más desfavorable de la estructura a proteger, con un margen de seguridad de un $\pm 10\%$ y en ningún caso superar radios de más de 100 metros.

Las bajantes a tierra serán lo más vertical posible, no efectuando curvas con radios no inferiores a 20 cm., ni cambios de dirección con ángulos inferiores a 90° . Se recomienda una segunda bajada a tierra para mejorar el índice de seguridad de la instalación [2].

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Material. Aplicación de Electrodo Cooper cilíndrico de grafito con conexión de varilla 5/8", altura 75cm, diámetro del compuesto químico de 3.75 ", cables de cobre desnudo de al menos 35 mm^2 de sección transversal, pararrayos de dispositivo de cebado FOREND mod. EU-M de diámetro 11 cm., altura de 70 cm. y peso de 900 gr. hecho en acero inoxidable. **Aplicación del mástil** de acero galvanizado y se conecta al pararrayos a través de rosca que puede ser ajustada.

2.2. Equipo. Los instrumentos utilizados fueron: El contador de pararrayos marca FOREND con contador mecánico de 6 dígitos , detecta corrientes de 6 a 100kA , dimensiones de 11.3 X 7 X 4.8 cm. y Probador digital de Tierras marca Megger pruebas de 2 , 3 y 4 puntos , selectivo de 25 a 50 V. Mod. DET4TD.

2.3. Metodología.

La secuencia para la selección de un sistema de pararrayos se considera la propuesta del siguiente marco procedimental, la cual nos muestra el procedimiento que hay que seguir para el cumplimiento de un suministro e instalación de ser requerido y con la normatividad que lo rige [2, 7 , 8].

2.3.1. Realización de levantamiento físico: Se realiza para ubicar las dimensiones del inmueble a proteger, así como su bajante a tierra para poder desarrollar el cálculo en base a la normatividad, seleccionando el tipo de punta y los materiales necesarios para proteger el inmueble. (Fig. 1.)

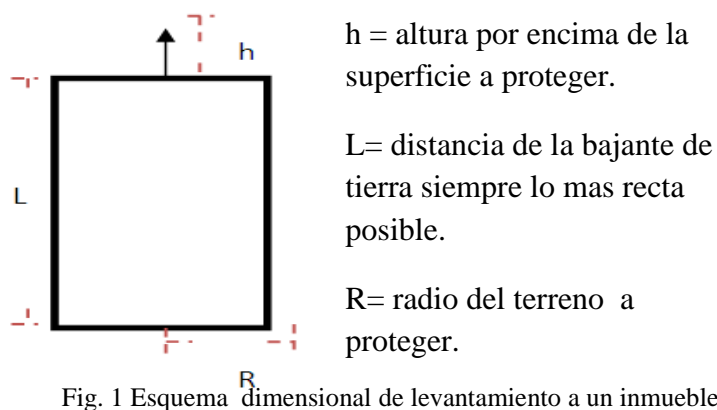


Fig. 1 Esquema dimensional de levantamiento a un inmueble

2.3.2. Monitoreo y evaluación de la resistividad al terreno: se realizan para saber el tipo de terreno y la selección del electrodo que formaran la conexión a tierra, esto utilizando dispositivos de medición como es el MEGGER que es un dispositivo para medir resistencia en

terrenos, existen gran variedad de modelos de electrodos entre ellos el electrodo de grafito que es el que se consolida mejor al terreno. (Fig. 2).

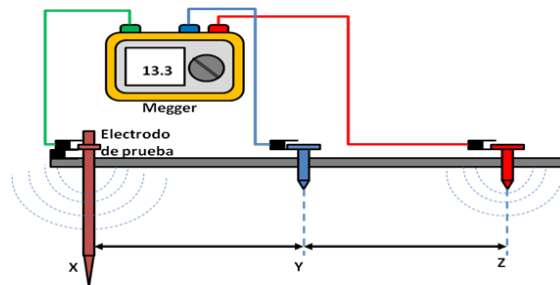


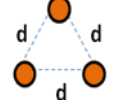
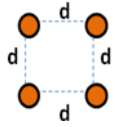
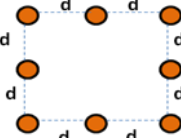


Fig. 2 Esquema de medición de valor óhmico de tierra física.

2.3.3. Selección del sistema de tierra: se realiza basándose o refiriéndose en el estudio del terreno y en las normas establecidas para seleccionar el tipo de malla que se unifique al sistema para reducir considerablemente el riesgo de daño a los equipos electrónicos y al personal (Tabla 1).

Tabla 1. Configuraciones de electrodos

Arreglo	Valores esperados
	Dos electrodos en paralelo reducen al 55% la resistencia de cada uno
	Tres electrodos en línea recta reducen al 35%.
	Tres electrodos en delta reducen al 38%.
	Cuatro electrodos en cuadro reducen al 28%.
	Ocho electrodos en rectángulo reducen al 16%.

2.3.4. Excavación de las fosas para el suministro e instalación del sistema de tierras: Una vez seleccionado el tipo de malla a implementar, se realizan las fosas de acuerdo a la norma [2, 7, 8], esto con el fin de que el sistema sea óptimo y eficiente, para lo cual se ilustran en las figuras 3 y 4.

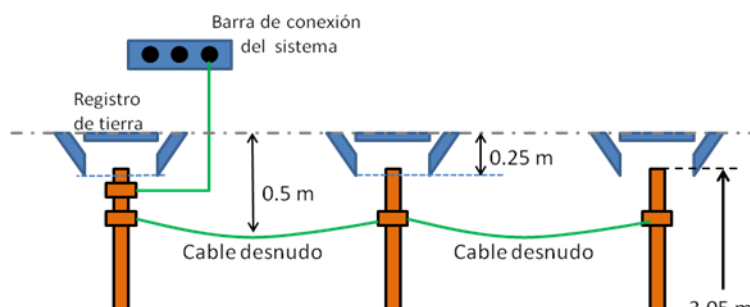


Fig. 3 Instalación de 3 varillas en línea.

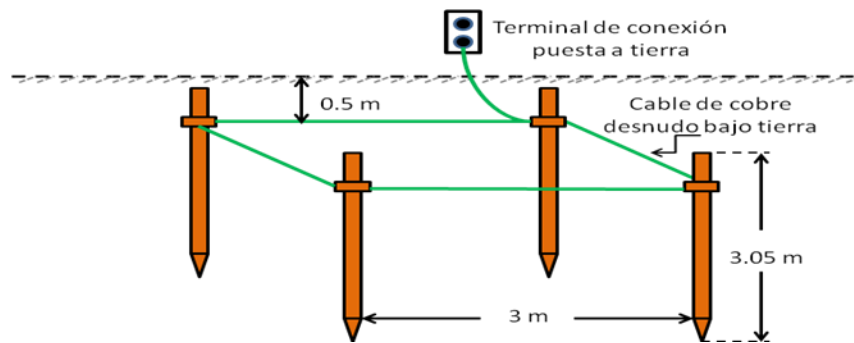


Fig. 4 Instalación de cuatro varillas de tierra eléctricamente en paralelo.

En la figura 5 se muestra el perfil de resistividad en base a la profundidad de colocación de los electrodos en un sistema de tierra donde se observa la tendencia de reducir el valor óhmico comprobando la normatividad [2] para la excavación de las fosas, para optimizar el sistema de tierra y poder obtener una protección adecuada.

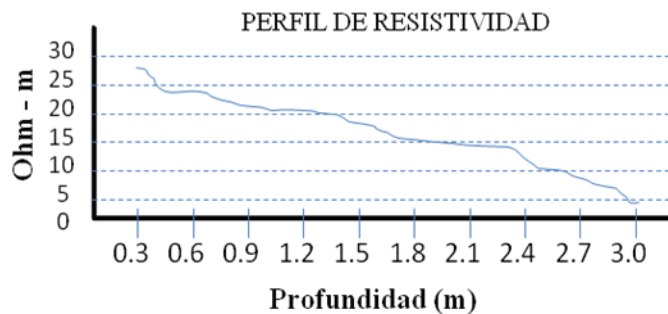


Fig. 5 Grafica de perfil de resistividad según profundidad.

Existe una gama de diferentes tipos de electrodos, para lo cual en este marco procedimental el electrodo que se sugiere es el COOPER CILINDRICO de grafito [5], que se implementa al sistema de tierra ya que ofrece ciertas ventajas debido a su estructura molecular

el cual lo hace un material altamente conductivo y resistente a la corrosión por las sales y minerales de la tierra, haciendo el electrodo de grafito el mejor sistema para la puesta a tierra.

2.3.5. Selección de los componentes de fijación del sistema de tierra: Existen diversos métodos de fijación para los tendidos del sistema de tierra como son los componentes mecánicos ,conectores y soldaduras, ya que por norma es más conveniente utilizar métodos de soldadura, entre ellos la más eficiente es la soldadura exotérmica, la cual es capaz de soldar cobre a cobre y cobre a acero sin requerir de una fuente externa de calor las figuras 6 y 7 muestran diferentes tipos de sujeción.



Fig.6 Conector tipo gar para sistemas de tierra



Fig. 7 Método de soldado exotérmico

2.3.6. Calculo de radio de protección de los inmuebles en base a estudio y uso de normatividad: Este proceso se realiza en base a la normatividad [6] y al estudio realizado al predio o terreno el cual se quiere proteger, ya que se tiene que conocer el área del terreno en metros para poder definir la cobertura total mediante tablas de niveles de protección (Fig.8) la cual nos muestran los niveles según el riesgo que se toma para proteger los equipos o materiales inflamables, o por medio de un pequeño calculo con la ecuación No. 1. [6]

$$R_p = \sqrt{2Dh - h^2 + \Delta L(2D + \Delta L)} \quad (1)$$

R_p= Radio de protección (m).

h= Altura por encima de la superficie a cubrir (m).

D=Nivel de protección requerida por la norma siendo estos tres niveles: N1=20m ; N2=45m ; N3=60m

ΔL= Constante de cebado: ΔL= 106*ΔT

(ΔT: Valor en tabla de modelos de la punta seleccionada)

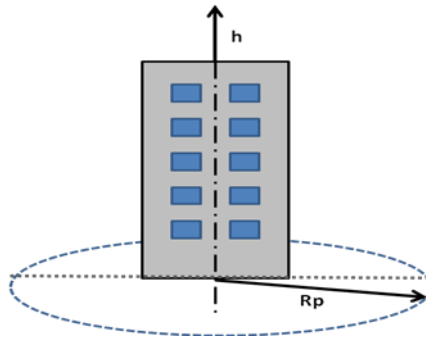


Fig. 8. Radio de proteccion (Rp)

2.3.7. Selección del tipo de punta a ocupar : Aplicando la tecnología con pararrayos marca FOREND , se hace la selección de la punta (Tabla 2) conociendo el área que se desea cubrir, saber el radio de protección que dicha punta alcanza, así como su peso , altura y rendimiento (Tabla 3), donde se indica los niveles de protección (I, II ,III y IV) al seleccionar la altura del mástil.

Tabla 2. Modelos de punta de pararrayos marca FOREND PDC



	
<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro=11cm • Altura=70cm • Peso =900 g 	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro=21cm • Altura=66cm • Peso =1700 g
Mod. PDC FOREND EU-M	Mod. PDC FOREND EU

Tabla 3. Modelos de punta FOREND PDC.

Rp(m)	FOREND EU-M				FOREND EU			
	$\Delta L=45m$				$\Delta L=60m$			
h(m) \ Np	I	II	III	IV	I	II	III	IV
2	25	28	32	36	31	35	39	43
3	51	57	64	72	63	69	78	85
4	63	71	81	89	79	86	97	107
6	63	71	81	89	79	86	97	107
8	64	72	82	91	79	87	98	108
10	64	72	83	92	79	88	99	109
20	65	74	86	97	80	89	102	113
30	65	75	89	101	80	90	104	116
60	65	75	90	105	80	90	105	120

Np= Nivel de protección.
Rp= Radio de protección
h = Altura mástil con pararrayo.
 ΔL = Constante de cebado.

2.3.8. Instalación del contador de descargas o eventos para el sistema: Este dispositivo es muy importante ya que las descargas de rayos son detectadas y monitoreadas para obtener información sobre la posibilidad de servicios o reparos en el sistema de protección, es decir detecta los eventos que han transcurrido con el fin de comprobar que efectivamente funciona el sistema y tener un seguimiento a futuro para hacer un mantenimiento preventivo al sistema de tierra (Fig.9)

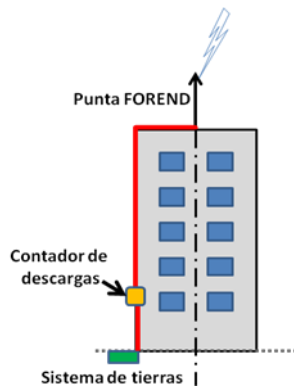


Fig. 9 Instalación de contador de descargas.

3. RESULTADOS

La validación del procedimiento para la selección de un pararrayos se muestra con un ejemplo, donde a continuación se puntualiza etapa por etapa, en primer término se muestra el levantamiento físico de un inmueble con sus dimensiones para protegerlo con un sistema de pararrayos con dispositivo de cebado, tomando en cuenta las distancias como el área a proteger para la selección de la punta captadora con PDC.(Fig. 10).

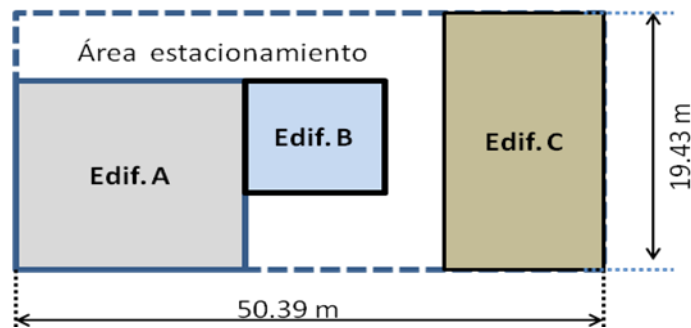


Fig. 10 Levantamiento físico del inmueble

Sobre el inmueble se encuentra en terreno rocoso cuyo valor de resistencia estimado de tablas es aproximadamente de 500Ω y por cuestiones de espacio físico así como del valor a la cual se reduce la resistencia que es aceptable se selecciona el sistema de tierras en configuración delta (Fig. 11), que consta de tres electrodos COOPERCILINDRICO de grafito, respetando la normativa [3], el cual captara el líder descendente y lo disipara en el predio o terreno, obteniendo un valor óhmico en el sistema de tierras de 2Ω con la implementación de aditivos especiales ajustándose a la norma y seleccionando el tipo de fijación de tipo exotérmico.

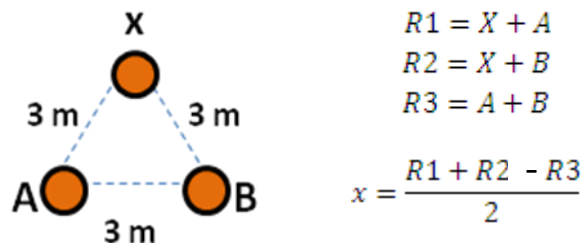


Fig. 11 Distribución de la malla de tierra (DELTA).

La selección de la punta que nos cubrirá el área total del inmueble, así como su altura del mástil para maximizar el radio de protección y cumplir con la norma establecida [2], se selecciono

la punta EU-M FOREND (Fig.12) a una altura de 6 metros para dar protección al inmueble así como los equipos alojados en el techo del mismo, la cual muestra los niveles de cobertura mediante una tabla de valores (procedencia de fabricante), así como la validación utilizando la ecuación (1) , se observa que los resultados obtenidos en la aplicación de la fórmula para el cálculo de radio de protección son semejantes. (tabla 4 y 5) y se muestra el resultado final (Fig. 13 y 14) .



Fig. 12. Punta seleccionada FOREND EU-M

De la tabla del proveedor FOREND ajustando h= 6 metros y la punta seleccionada Mod. FOREND EU-M PDC , se visualiza los tres niveles de protección (Tabla 4).

Tabla 4. Radio de protección según fabricante de la punta seleccionada

RP (M)	FOREND EU-M		
h (metros)	(ΔL- 45 m)		
	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
6	63 m	71m	81m

Tabla 5. Validación de los radios de protección aplicando ecuación (1)

Nivel de protección	Distancia de cebado	Avance de cebado	Altura de la punta	Radio de protección
	D	ΔL	h	$R_p = \sqrt{2Dh - h^2 + \Delta L(2D + \Delta L)}$
NIVEL I	20 m.	45 m.	6 m.	Rp= 63.474 m.
NIVEL II	30 m.	45 m.	6 m.	Rp= 71.056 m.
NIVEL III	45 m.	45 m.	6 m.	Rp= 81.111m.

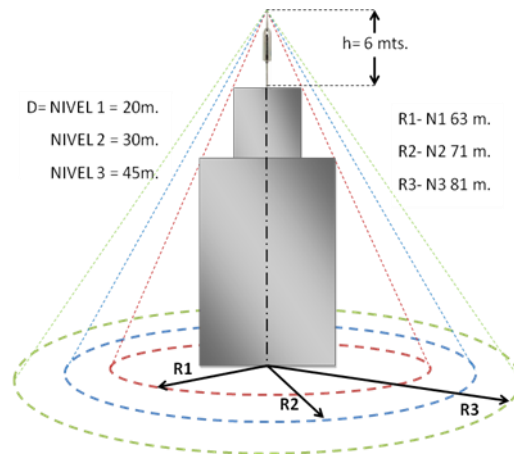


Fig. 13 Distribución de los radios de protección debido a los tres niveles de protección.

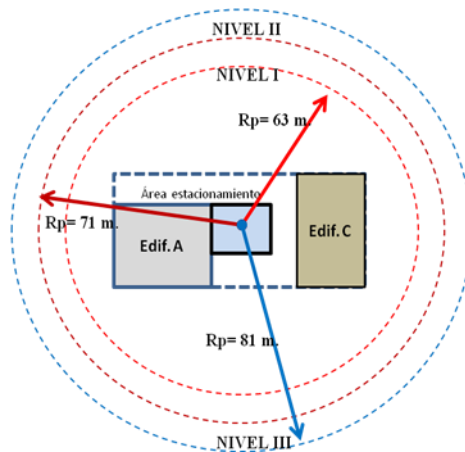


Fig. 14 Distribución de los radios de protección vista superior del inmueble.

4. CONCLUSIONES

La caída de un rayo puede tener una serie de daños irreversibles sobre estructuras, muerte a personas y animales, además de la destrucción de equipos e instalaciones, así pues con el objetivo de mejorar la calidad de la edificación y promover la innovación y la sostenibilidad existe un normativo que regula las condiciones básicas de los edificios y sus instalaciones.

Los pararrayos con dispositivo de cebado son el sistema de protección más eficaz, ya que puede garantizar un radio de protección variable en función de su avance de cebado, una de las ventajas del cebado frente a un sistema de captación pasivo o convencional es la de permitir proteger grandes áreas, que los sistemas convencionales no tendrían alcance para proteger, como por ejemplo, áreas abiertas, zonas deportivas etc.

El trabajo valida un propuesta de seguimiento de una serie de pasos para llevar a cabo la selección de un sistema de protección con pararrayos con dispositivo de cebado marca FOREND ,para desahogar a tierra las incidencias o rayos que incidan sobre el inmueble a proteger, este algoritmo facilitara al usuario a una mejor comprensión sobre la selección y calculo de este tipo protección aunado a la serie de disciplinas que van relacionado en este ámbito , recordando que la parte esencial de todo esto es la protección con la implementación de la normatividad que rige un sistema de tierras el cual por muy simple o complejo que sea es la de proporcionar seguridad a las personas , proteger las instalaciones y equipo en general , tener una calidad en el servicio cualesquiera que fuera : eléctrico , comunicaciones , etc. , disipar la corriente asociada a las descargas atmosféricas que es el caso de este marco procedimental.

Es importante destacar las partes que integran una instalación de un pararrayos y visualizar las nuevas tecnologías que surgen en ese ámbito, las partes son : Pararrayos , el mástil ,la pieza de adaptación entre mástil y pararrayos , el conductor bajante , los soportes , los tubos de protección , el contador de descargas y el sistema de tierras.

BIBLIOGRAFIA

- [1] [Sánchez FM](#) *“Instalaciones de Antenas y pararrayos en la Edificación*
Editor: Antonio Madrid Vicente
- [2] NORMA NMX-J-549 ANCE 2005 – NF-17.102
Secretaria de trabajo y prevención social.
- [3] Rúelas GR *“Teoría y Diseño de Sistemas de Tierras según las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) e IEEE”*
- [4] NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE- 2005
Secretaria de trabajo y prevención social.
- [5] Askeland DR *“Ciencia e Ingeniería de los Materiales”*, ed. Iberoamericana, Mexico, 1997
- [6] NORMA UNE 21.186 *“Protección de estructura , edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivo de cebado”*.
- [7] NORMA NRF-011-CFE *“Sistema de tierra para plantas y subestaciones eléctricas”*.
Comisión Federal de Electricidad.
- [8] NORMA ANSI/IEEE STD8-1986 *“Calculo de la malla de puesta a tierra de una subestación”* .

EMPLEO DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA PARA MODIFICAR MEMBRANAS DE POLIETERSULFONA Y SU EFECTO EN EL DESEMPEÑO DE PROCESOS DE SEPARACIÓN POR ULTRAFILTRACIÓN

F. Javier Hernández-Campos^{1*}, W. Netzy Hernández-Díaz¹, J. Pablo Pérez-Orozco¹, Z. Vargas-Galarza¹, R. Salgado-Delgado¹

¹Instituto Tecnológico de Zacatepec, Calzada Tecnológico # 27, Col. Centro, Zacatepec, CP 62780, Mor., México

*Correo electrónico: javfco@yahoo.com

RESUMEN

El uso de membranas poliméricas modificadas ha permitido mejorar la eficiencia de los procesos de separación y purificación mediante el empleo de la ultrafiltración. En el presente trabajo se evaluó el efecto que tiene la modificación superficial con radiación ultravioleta (RUV) sobre el desempeño de membranas de Polietersulfona (PES) en la recuperación de Inmunoglobulina Y (IgY) mediante la ultrafiltración de la fracción proteica hidrosoluble (FPH) de la yema de huevo a pH 5.7 y diferentes condiciones de fuerza iónica. Tanto en permeado como en retenido se cuantificó la concentración de IgY mediante inmudifusión radial y la proteína total mediante el método de Bradford. El efecto de la modificación por RUV fue evaluado. El efecto de la modificación en la membrana por RUV fue evaluado midiendo el ángulo de contacto mediante la técnica de la burbuja de aire y midiendo los flux de permeado en estado estacionario empleando agua deionizada. La modificación de la membrana permitió obtener incrementos en los valores de selectividad (Ψ) y factor de purificación (P) de 25,8 % y 36,6 % respectivamente, así como disminuciones en el taponamiento de los poros con lo que se logró una mayor eficiencia en el proceso de lavado enzimático de las membranas.

Palabras claves: Membranas poliméricas, Polietersulfona, Ultrafiltración,

ABSTRACT

The use of modified polymeric membranes has improved the ultrafiltration separation and purification processes efficiencies. The polyethersulfone membrane used in the present work was modified by ultraviolet radiation. The effect of the modification on the Immunoglobulin Y (IgY) ultrafiltration recovery from the egg yolks water soluble protein fraction was evaluated at different ionic strength conditions and at pH 5.7. Permeated and Retented IgY's and total protein concentrations were evaluated by radial immunodiffusion and Bradford methods respectively. To determine the effect of the Ultraviolet radiation modification, the contact angle of the modified membrane was measured by the air bubble technique and the stationary permeated flux of deionized water was evaluated. The modified membranes showed an increment on the process selectivity (Ψ) and purification factors (P) (25,8 % y 36,6 % respectively), and a reduction of the pore fouling, improving the efficiency of the membranes enzymatic wash.

Key words: Polymeric membranes, Polyethersulfone, Ultrafiltration

1.- INTRODUCCIÓN

La ultrafiltración es una operación que encuentra un lugar preponderante en el procesamiento de productos biotecnológicos (recuperación de proteínas, antibióticos, inmunoglobulinas, etc.). Dicho proceso se utiliza para separar solutos en suspensión dentro de una solución, o bien para concentrar algún producto de interés, explotando en ambos casos las diferencia de tamaño entre los solutos presentes, mediante el empleo de una membrana polimérica como medio filtrante [1].

En general, en los procesos de ultrafiltración, se encuentran diferentes factores (físicoquímicos y físicos) que influyen en las variables de separación del proceso (flux de permeado, selectividad, factor de purificación, etc.). Dichos factores son el pH y la fuerza iónica de la solución, la presión transmembrana y el diseño del modulo (hidrodinámica), así como las propiedades de superficie de la membrana.

En cuanto a su estructura las membranas pueden ser de tipo no poroso densas, poroso asimétricas, poroso isotrópicas y cargadas eléctricamente [2]. Las membranas cargadas eléctricamente son aquellas en las que se han fijado iones cargados eléctricamente (positivos o negativos) y pueden ser de tipo no poroso o poroso, siendo más efectivo su funcionamiento en el caso de las membranas de tipo poroso. En este tipo de membranas se busca que la separación no sea solo por diferencia de tamaño, sino que además, exista una exclusión de tipo electrostático misma que se logra mediante una modificación de la membrana [2]. La creación de membranas modificadas para su utilización en operaciones de separación se da a partir de la necesidad de incrementar la eficiencia en la separación de mezclas de solutos con pesos moleculares muy cercanos [3], así como minimizar las interacciones entre los solutos y la membrana causantes de los fenómenos de taponamiento y disminución del flux [4,5]. La modificación puede llevarse a cabo mediante dos formas diferentes: tratamiento químico, o bien por exposición a radiaciones. En ambos casos se busca modificar la carga superficial de la membrana y de esta forma incrementar la selectividad. Este incremento en la eficiencia del proceso de separación se da al combinar la exclusión electrostática con la exclusión molecular [6,7]. En el caso de la modificación por tratamiento químico se busca ligar un grupo funcional con carga neta positiva (aminas) o negativa (sulfatos) a la superficie de los poros de la membrana [3, 5, 6]. En la modificación por exposición a radiación, se busca activar (o liberar) radicales libres propios del material de manufactura de la membrana (poliamida, polisulfona, o polietersulfona), así como la conformación geométrica de los poros (ángulos de inclinación y/o tamaño) [4].

En el presente trabajo se evaluó el efecto de la modificación superficial de membranas de polietersulfona mediante radiación ultravioleta en variables de eficiencia tales como selectividad (Ψ), factor de purificación (P), flux de permeado en estado estacionario (J_{ss}) y porcentaje de recuperación ($\%R$) durante el proceso de separación de inmunoglobulina Y (IgY).

2.- PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Materiales

2.1.1 Especificaciones de los materiales empleados. Fracción proteica hidrosoluble (FPH), obtenida a partir de la yema de huevo mediante la técnica propuesta por Akita y Nakai en 1992 [8]. Agua deionizada (Milli-Q Academic, Millipore Inc.), Ácido Clorhídrico 0,1 N (HCl), Hidróxido de Sodio 0,1 N (NaOH), Cloruro de Sodio (NaCl), Reactivo de Bradford, Albúmina de Suero Bovino (BSA), solución de Agarosa tipo IV al 1 % p/v en Buffer de Fosfatos 0,01 M (PBS), Antígeno anti-IgY incubado en conejo (concentración de proteína completa 2,5 mg/mL), Inmunoglobulina Y pura (IgY), membranas de Polietersulfona (PES) de corte molecular de 100 kDa (Millipore).

2.2 Métodos

2.2.1 Ensayos analíticos

2.2.1.1 Cuantificación de proteínas totales. La concentración de proteínas totales fue determinada por el método de Bradford [9]. Para la determinación se tomaron 0,05 mL de la muestra a analizar y se colocaron en un tubo de ensayo con 1,5 mL de reactivo de Bradford (SIGMA B6916). La mezcla se agitó durante 1 minuto empleando un vortex (Mixer, modelo VM20). La muestra se dejó incubar durante 15 minutos a temperatura ambiente y posteriormente se tomó lectura de absorbancia a una longitud de onda de 595 nm en un espectrofotómetro marca Biorad (Smartspec 3000). Las unidades de absorbancia obtenidas se correlacionaron con una curva tipo previamente construida a fin de determinar la concentración de proteína presente en la muestra. La curva tipo se construyó utilizando soluciones de BSA (SIGMA A7906) a diferentes concentraciones (0,1 – 1,0 mg·mL⁻¹).

2.2.1.2 Cuantificación de IgY. La técnica empleada fue la desarrollada por Mancini [10] con una modificación realizada por Polson en 1980 [11], la cual consiste en suplir el gel de agar por uno de agarosa al 1,0 % con el fin de evitar las posibles reacciones entre la agaropectina (del agar) y los residuos de lisozima presentes en las muestras no purificadas de IgY. Para la preparación del gel se tomaron alícuotas de 6 ml de agarosa y se les adicionaron 150 µL de antígeno (SIGMA) previamente diluido e incubado a 56 °C en 1850 µL de solución amortiguadora salina de fosfatos (PBS). Esta solución se mezcló perfectamente y se vació en los soportes de vidrio para permitir la gelificación cuidando que el grosor del gel fuera uniforme. Una vez formado el gel se perforaron pozos de 2 mm de diámetro en los cuales se inyectaron 2,5 µL de muestra. Una vez inyectadas las muestras, se incubó el gel durante 48 horas a 37 °C para permitir que la reacción antígeno-anticuerpo se llevara a cabo. Después de la incubación se eliminó el exceso de proteína presente en el gel mediante múltiples lavados con una solución de NaCl al 1 %. Finalmente, el gel se tiñó utilizando la misma metodología empleada en la tinción de los geles de acrilamida. Para cuantificar la IgY se midieron los halos de inmunoprecipitación, y se correlacionaron con una curva tipo de IgY pura (SIGMA I4881) construida en cada gel.

2.2.2 Métodos experimentales

2.2.2.1 Acondicionamiento de la FPH. Con el fin de acondicionar la solución de la Fracción Proteica Hidrosoluble (FPH) a cada una de las condiciones de fuerza iónica (1500 mM, 150 mM y sin sal) evaluadas, se tomaron alícuotas de 150 mL de la solución de FPH y se les adiciono NaCl en las cantidades requeridas. Posterior a esto se ajusto el valor de pH de la FPH a 5,7, ya que a este valor la IgY se encuentra en su punto isoelectrico. Cada una de las soluciones de FPH acondicionadas fueron ultrafiltradas utilizando las membranas de Polietersulfona sin modificar (PES) y modificada (MPES).

2.2.2.2 Modificación de la membrana de Polietersulfona. Las membranas de Polietersulfona fueron sometidas a una modificación mediante radiación ultravioleta (RUV) de acuerdo a la metodología propuesta por Nyström y Järvinen en 1991 [4]. Para ello, una membrana nueva fue colocada en el interior de un cristizador con 100 mL de agua desionizada y sometida a agitación (≈ 50 ciclos por minuto) en el interior de una cámara oscura con lámpara de UV (254 nm) durante de 20 minutos. Una vez pasado este tiempo la membrana fue refrigerada a 4 °C durante 12 horas y posteriormente fue empleada en los experimentos de ultrafiltración. El efecto de la modificación en la membrana por RUV fue evaluado midiendo el ángulo de contacto mediante la técnica de la burbuja de aire y midiendo los flux de permeado en estado estacionario empleando agua desionizada.

2.2.2.3 Medición de ángulos de contacto. Los ángulos de contacto de la superficie de la membrana fueron medidos empleando la técnica de la burbuja de aire capturada descrita por Zhang y Hallstrom [12]. La superficie del lado filtrante de las membranas es colocada dentro de un recipiente cuadrado de vidrio con agua deionizada y mediante una micropipeta se colocan burbujas de aire sobre la superficie filtrante. El ángulo de contacto se midió empleando una cámara digital (Sony Handycam con lentes Carl Zeiss) conectada a un monitor. El valor final es el resultado de 15 mediciones de ángulo en diferentes burbujas colocadas en la superficie de la membrana.

2.2.2.4 Experimentos de ultrafiltración. En el proceso de ultrafiltración se busca que la mayor cantidad de las proteínas consideradas como contaminantes sean eliminadas en el permeado evitando al mismo tiempo tener un alto porcentaje de pérdida de la proteína de interés (IgY). Las pruebas de ultrafiltración en flujo pistón se realizaron en una celda Amicon 8200 con las siguientes características: capacidad de la celda 180 mL, diámetro de la membrana 63,5 mm, área efectiva de la membrana 31,67 cm² y presión máxima de operación 75 psi (5,3 kg-cm⁻²). 70 mL de la solución de la FPH previamente acondicionada al valor de pH y fuerza iónica evaluados, fueron colocados en la celda de ultrafiltración y se realizó la determinación de flux de permeado (\approx 3 hrs) empleando una Presión Transmembrana (ΔP_{TM}) de 12 psi. Una vez finalizada la ultrafiltración, se midió el volumen del retenido y del permeado y se tomaron muestras de cada uno de ellos para cuantificar la selectividad (Ψ) y el factor de purificación (P).

2.2.2.5 Determinación de flux de permeado. Tal como se muestra en la Figura 1, las mediciones de flux se realizaron utilizando una balanza Ohaus (PRECISION Standar) con tarjeta de adquisición de datos SW32 y el programa Winwedge 32. Dicho programa exporta datos de peso a una hoja de Excel en donde los datos son convertidos a flux de permeado empleando los datos del área de la membrana, densidad del permeado y tiempo de muestreo. Los experimentos se realizaron sin agitación, a temperatura ambiente (25 °C) y una ΔP_{TM} de 12 psi aplicada con nitrógeno comprimido.

2.2.2.6 Caracterización de las membranas. Antes de emplear las membranas en la ultrafiltración de la fracción proteica hidrosoluble, fue necesario caracterizarlas. Lo anterior con el fin de evaluar las pérdidas de flux debido al taponamiento, así como para evaluar si la membrana era capaz de recuperar su flux original a una determinada ΔP_{TM} y determinar si puede ser reutilizada o no. Una vez armado el equipo de ultrafiltración (Figura 5.5), se llenó con agua deionizada y se aplicó una ΔP_{TM} de 12 psi, permitiendo que toda el agua permeara mientras se realizaba la toma de datos por parte del programa. Lo anterior se repitió empleando ΔP_{TM} de 16 y 20 psi. De los datos obtenidos se seleccionaron los que corresponden a la región flux en estado estacionario.

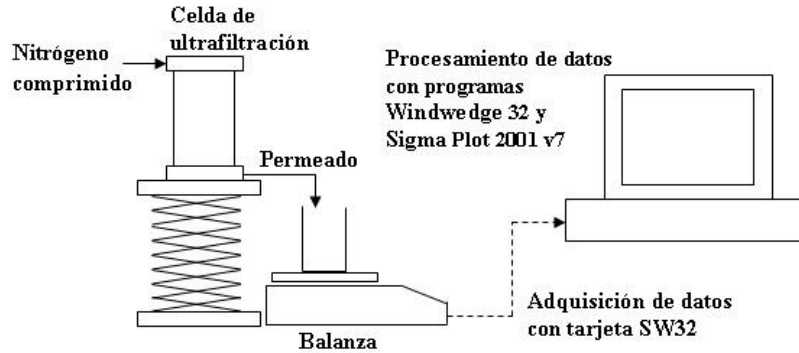


Figura 1.- Sistema de ultrafiltración por flujo pistón

2.2.2.7 Determinación de pérdida de flux de permeado. Una vez realizada la ultrafiltración de la FPH la membrana fue retirada de equipo y con el fin de eliminar la proteína depositada sobre la superficie de la misma se colocó en un cristalizador con 50 mL de agua deionizada y se sometió a agitación durante 10 minutos a 10 ciclos por segundo. Una vez pasado ese tiempo la membrana se escurrió y se colocó de nuevo en el equipo de ultrafiltración, mismo que se llenó con agua deionizada y se midieron los flux de permeado a ΔP_{TM} de 12, 16 y 20 psi. De los datos obtenidos se seleccionaron los que corresponden a la región de flux en estado estacionario y se compararon dichos resultados con los obtenidos en el punto 2.2.2.5.

2.2.2.8 Lavado enzimático de las membranas. Después de haber determinado la perdida de flux, las membranas fueron colocadas en un cristalizador con 400 mL de solución enzimática al 10 % (Tergazyme) y se sometió a agitación (10 ciclos por segundo) con calentamiento (45 °C) durante 10 minutos. Posterior a esto la membrana se colocó en el equipo de ultrafiltración y se hizo pasar el total del volumen de la solución enzimática a una presión de 8 psi, repitiendo este paso tres veces más, cuidando que la temperatura de la solución no disminuyera de los 40 °C. Finalmente se hicieron pasar 500 mL de agua deionizada a 8 psi para eliminar los residuos de la solución enzimática.

2.2.3 Análisis de datos. La eficiencia de un proceso de ultrafiltración puede ser evaluada por medio de parámetros tales como la selectividad y el factor de purificación [13]. La selectividad (Ψ) es un valor adimensional definido por:

$$\Psi = \frac{S_1}{S_2} \quad (1)$$

En donde S_1 y S_2 son los coeficientes de separación observados para las proteínas contaminantes y la IgY respectivamente, mismos que se calculan mediante:

$$S_x = \left(\frac{C_f}{C_s} \right) \quad (2)$$

En donde C_f y C_s son las concentraciones de la proteína específica en el filtrado y la alimentación respectivamente. El factor de purificación (P) para la IgY en el retenido se define como:

$$P = \frac{(VC_2)_F}{(VC_2)_i} \bigg/ \frac{(VC_1)_F}{(VC_1)_i} \quad (3)$$

En donde V es el volumen de trabajo, C_1 y C_2 son las concentraciones de las proteínas contaminantes y de IgY respectivamente, y los subíndices i y F. corresponden a inicial y final respectivamente.

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Efecto de la modificación de la membrana sobre el ángulo de contacto estático y el flux de permeado. Después de la modificación por RUV, se pudo observar un decremento significativo ($\approx 28,5 \%$) en el ángulo de contacto estático de la membrana de Polietersulfona (PES), siendo este de $56^\circ \pm 2$ en las membranas de PES, mientras que en las membranas modificadas (MPES) fue de $40^\circ \pm 3$. La disminución en el ángulo de contacto indica un incremento en la hidrofiliidad de la membrana, misma que se da por el incremento de grupos OH liberados en la superficie de la membrana debido a la exposición a la RUV. Resultados similares han sido reportados por Pieracci y colaboradores [14] y Kilduff y colaboradores [15] quienes modificaron membranas de polietersulfona de 10 kDa obteniendo disminuciones en los ángulos de contacto de entre 21 a 32 % respectivamente. Así mismo el incremento de grupos OH sobre la superficie de la membrana permite que dicha superficie adquiriera una carga neta negativa, lo que trae como consecuencia que el proceso de separación de solutos sea no solo por exclusión molecular, sino también por exclusión electrostática, fenómeno que ha sido descrito por Eshani y Nyström [7].

En la Figura 2 se muestra una comparación entre los fluxes de permeado en estado estacionario (J_{SS}) empleando agua deionizada (caracterización) antes y después del proceso de ultrafiltración de la FPH a pH 5.7 y diferentes condiciones de fuerza iónica obtenidos con las membranas de PES y MPES. Como se puede observar, el valor de J_{SS} obtenido en la caracterización (Línea en negro en Figura 2B) de la membrana MPES incremento en aproximadamente un 55 % con respecto al obtenido con la membrana PES (Línea en negro en Figura 2A), siendo este resultado similar al obtenido por Eshani y Nyström [7] y Pieracci y colaboradores [16] con membranas de polietersulfona de 30 y 10 kDa sin modificar y modificadas por RUV. Los resultados en las mediciones de los valores de J_{SS} con agua obtenidos con la MPES, así como su decremento en el ángulo de contacto estático, confirman el incremento en la hidrofiliidad de dichas membranas (MPES), concordando con lo reportado por otros autores [7, 16, 17, 18].

Con respecto a los valores de J_{SS} con agua deionizada obtenidos después del proceso de ultrafiltración de la FPH (antes del lavado enzimático), se observo que cuando se empleó la membrana MPES, en todas las condiciones de fuerza iónica evaluadas existieron incrementos de más del doble en los valores de flux que cuando se empleó la membrana de PES. Lo anterior es un indicativo de que las membranas de MPES sufrieron un menor taponamiento y por lo tanto se esperaba que el proceso de limpieza fuera más eficiente en estas membranas.

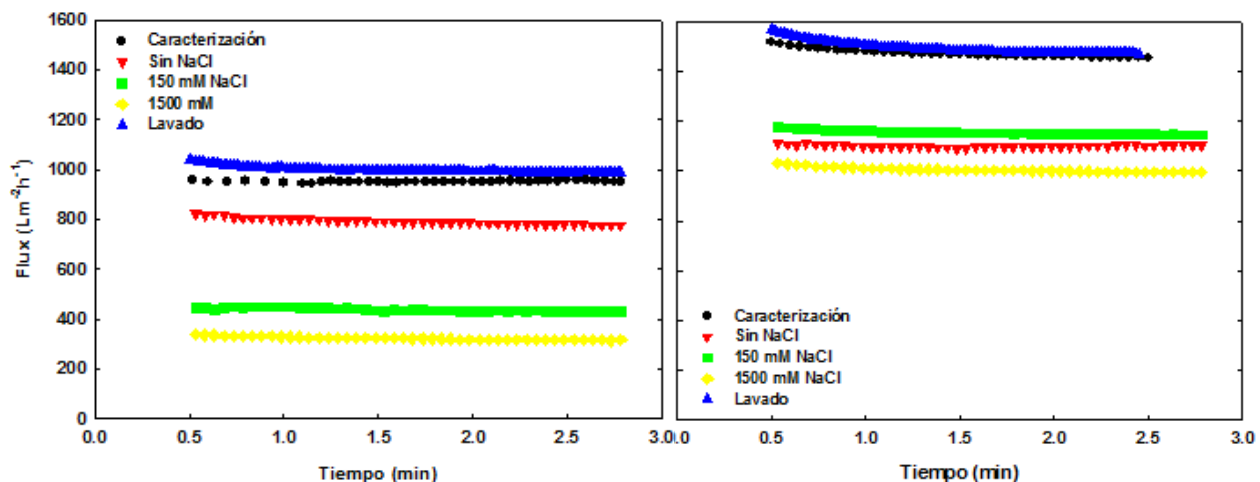


Figura 2.- Comparación entre los fluxes de permeado en estado estacionario con agua antes (caracterización) y después de la ultrafiltración de la FPH a pH 5.7 a diferentes condiciones de fuerza iónica empleando membranas de PES (A) y MPES (B).

3.2 Efecto de la modificación de la membrana sobre la limpieza de la membrana. Al comparar los valores de J_{SS} para la caracterización y lavado de la membrana, obtenidos con las membranas de PES y MPES (Líneas en negro y azul en Figura 2 A y B, respectivamente), no se observan diferencias significativas. Esto significa que después de haber sido empleadas en los procesos de ultrafiltración, ambas membranas logran tener una recuperación en el flux de permeado del 100 % con respecto al original, lo cual indica que no existe un efecto en la eficiencia de recuperación de la membrana debido a la modificación por RUV. Sin embargo como se puede observar en la Tabla 1, si existe un efecto con respecto a las estrategias de lavado empleadas, ya que para la membrana MPES disminuyen el número de ciclos de lavado (uno menos), la cantidad de solución limpiadora empleada (≈ 25 %) y el tiempo de lavado (≈ 25 %). Lo anterior concuerda con los resultados reportados en la Figura 1 y lo explicado al final de la sección anterior.

Tabla 1.- Condiciones de lavado enzimático empleadas para limpiar las membranas de PES y MPES después del proceso de ultrafiltrado de la FPH.

	PES	MPES
Cantidad de solución limpiadora empleada	400 mL	300 mL
Número de ciclos	4	3
Tiempo de lavado	40 Minutos	30 Minutos

3.3 Efecto de la modificación de la membrana sobre la selectividad (Ψ) y el factor de purificación (P). En la Tabla 2 se muestra el efecto de la modificación por RUV sobre la selectividad (Ψ) y el factor de purificación (P) a diferentes condiciones de fuerza iónica. Como se puede observar, la modificación de la membrana no tiene un efecto significativo en el proceso de separación. En el caso de la presencia de NaCl (150 y 1500 mM), podría deberse a un efecto combinado entre la presencia de la sal y la carga nula de la IgY a este valor de pH (5.7), lo que ocasiona que la proteína tenga una baja solubilidad, mientras que en ausencia de sal se debe

principalmente a este último factor. Resultados similares han sido reportados por diversos autores empleando soluciones modelo de proteínas como BSA, Mioglobina, Citocromo, etc. [3, 4, 6,]

Tabla 2.- Valores de selectividad (Ψ) y factor de purificación (P) obtenidos en la ultrafiltración de la FPH a pH de 5.7 a diferentes condiciones de fuerza iónica empleando membranas de PES y MPES.

	PES			MPES		
Fza. Iónica	0	150	1500	0	150	1500
Ψ	3.90 \pm 0.22	1.37 \pm 0.40	1.24 \pm 0.36	3.67 \pm 0.19	2.20 \pm 0.23	1.71 \pm 0.29
P	2.84 \pm 0.30	1.03 \pm 0.38	1.32 \pm 0.33	2.88 \pm 0.28	1.65 \pm 0.28	2.11 \pm 0.25

También se observa que la presencia de NaCl tiene un efecto negativo en el proceso de separación. Esto es más evidente a valores de NaCl de 1500 mM, en donde los valores de Ψ obtenidos para las membranas de PES y MPES no presentan una diferencia significativos. Una posible explicación a los resultados obtenidos puede ser que las proteínas cargadas tienden a formar agregados de gran tamaño mediante interacciones iónicas (utilizando los iones de la sal disuelta), evitando su permeado y disminuyendo los valores de Ψ . Resultados similares han sido reportados por Hernández-Campos y colaboradores [19], Saksena y Zydney [20], Ghosh y Cui [21], Eshani y colaboradores [22] y De Meulenaer y Huyghebaert [23] empleando diferentes soluciones modelo de proteínas.

En la Tabla 3 se muestran los datos de flux de permeado y los porcentajes de retención de IgY y proteína contaminante (PC) obtenidos durante el proceso de ultrafiltración de la FPH. Se puede observar que al incrementar la concentración de NaCl la diferencia entre los valores de $\%R_{IgY}$ y $\%R_{PC}$ no es significativa, esto es un indicativo de que a las concentraciones de 150 y 1500 mM de NaCl el proceso de separación no es eficiente.

Tabla 3.- Valores de flux de permeado en estado estacionario (J_{SS}), porcentaje de IgY retenido ($\%R_{IgY}$) y porcentaje de proteína contaminante retenida ($\%R_{PC}$) obtenidos en la ultrafiltración de la FPH a pH de 6.7 a diferentes condiciones de fuerza iónica empleando membranas de PES y MPES.

	PES			MPES		
Fza. Iónica	0	150	1500	0	150	1500
$\%R_{IgY}$	77.90 \pm 9.4	94.83 \pm 7.6	82.73 \pm 9.0	92.01 \pm 4.6	70.12 \pm 8.5	83.15 \pm 12.1
$\%R_{PC}$	44.87 \pm 8.7	93.02 \pm 9.8	79.33 \pm 7.3	81.23 \pm 5.7	79.35 \pm 6.9	84.52 \pm 10.8
J_{SS}	2.76 \pm 0.35	3.11 \pm 0.40	2.52 \pm 0.32	2.90 \pm 0.28	3.74 \pm 0.12	2.65 \pm 0.18

En ausencia de NaCl la diferencia entre estos parámetros si es significativa, indicando que el proceso de separación es considerablemente mejor. Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos en los valores de Ψ y P previamente presentados.

4.- CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que la modificación de las membranas de Polietersulfona mediante radiación ultravioleta no tiene un efecto significativo en el proceso de separación de la IgY mediante la ultrafiltración de la fracción proteica hidrosoluble de la yema de huevo. Con

respecto al flux de permeado en estado estacionario empleando agua, se observaron incrementos cercanos al 50 % en comparación a los obtenidos con la membrana sin modificar, debido a una disminución en los ángulos de contacto (28.5) de los poros de las membranas modificadas. También se observó una mejora en las condiciones de lavado de las membranas modificadas ya que se disminuyó la cantidad de solución limpiadora empleada, así como el tiempo y número de ciclos de lavado, lo anterior como una consecuencia en la disminución del taponamiento de los poros de las membranas modificadas.

5.- REFERENCIAS

- [1] Harrison RG, Todd P, Rudge SR, Petrides DP “Bioprocess design; Bioseparations science and engineering”, 1^a ed. Oxford University Press, **11**, 362 (2003)
- [2] Bøddeker KW “Liquid separations with membranes. An introduction to barrier interference”, Ed. Springer, **1**, 1 (2008)
- [3] Nakao S, Osada H, Kurata H, Tsuru T, Kimura S “Separation of protein by charged ultrafiltration membranes”, *Desal.*, **70**, 191 (1988)
- [4] Nyström M, Järvinen P “Modification of polysulfone ultrafiltration membranes with UV irradiation and hydrophilicity increasing agents”, *J. Membr. Sci.*, **60**, 275 (1991)
- [5] Düputell D, Staude E, Wyszynski, A “Sorption of human and charged ultrafiltration membranes made from polysulfone and polyethersulfone”, *Desal.*, **95**, 75 (1994)
- [6] Miyama H, Tanaka K, Nosaka Y, Fujii N “Charge ultrafiltration membrane for permeation of proteins”, *J. App. Polymer Sci.*, **36**, 925 (1988)
- [7] Eshani N, Nyström M “Fractionation of BSA and myoglobin with modified and unmodified ultrafiltration membrane”, *Biosepar.*, **5**, 1 (1995)
- [8] Akita EM, Nakai S “Immunoglobulins from egg yolk: Isolation and purification”, *J. Food Sci.*, **57**, (3), 629 (1992)
- [9] Bradford MM “A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding”, *Anal. Biochem.*, **72**, 248 (1976)
- [10] Mancini G, Carbonara AO, Heremans JF “Immunochemical quantitation of antigens by single radial immunodiffusion”, *Immunochem.*, **2**, 235 (1965)
- [11] Polson A, Von Wechmar MB, Van Regenmortel MHV “Isolation of viral IgY antibodies from yolks of immunized hens”, *Immunol. Comm.*, **9**, 475 (1980)
- [12] Zhang W, Hallstrom B “Membrane characterization using the contact angle technique. I. Methodology of the captive bubble technique”, *Desal.*, **79**, 1 (1990)
- [13] Van Reis R, Zydney AL “A Bioprocess membrane technology”, *J. Membr. Sci.*, **297**, 16 (2007)
- [14] Pieracci J, Crivello J, Belfort G “Photochemical modification of 10 kDa polyethersulfone ultrafiltration membranes for reduction of biofouling”, *J. of Membr. Sci.*, **156**, 223 (1999)
- [15] Kilduff J, Mattaraj S, Pieracci J, Belfort G “Photochemical modification of poly(ether sulfone) and sulfonated poly(sulfone) nanofiltration membranes for control of fouling by natural organic matter”, *Desal.*, **132**, 133 (2000)
- [16] Pieracci J, Crivello J, Belfort G “Increasing membrane permeability of UV-modified poly(ether sulfone) ultrafiltration membranes”, *J. of Membr. Sci.*, **202**, 1 (2002)
- [17] Yamagishi H, Crivello J, Belfort G “Evaluation of photochemical modified poly(arylsulfone) ultrafiltration membranes”, *J. of Membr. Sci.*, **105**, 249 (1995)
- [18] Cho DL, Kim S, Huh YI, Kim D “Effects of surface modification of the membrane in ultrafiltration of waste water”, *Macromol. Res.*, **12**, 553 (2004)

- [19] Hernandez-Campos F, Brito-De la Fuente E, Torrestiana-Sánchez B “Purification of egg yolk immunoglobulin (IgY) by ultrafiltration: Effect of pH, ionic strength and membrane properties”, *J. of Agric. and Food Chem.*, 58, 187 (2010)
- [20] Saksena S, Zydney AL “Effect of solution pH and ionic strength on the separation of albumin from immunoglobulins (IgY) by selective filtration”, *Biotechnol. Bioeng.*, **43**, 960 (1994)
- [21] Ghosh R, Cui ZF “Fractionation of BSA and lysozyme using ultrafiltration: effect of pH and membrane pre-treatment”, *J. Membr. Sci.* **139**, 17 (1997)
- [22] Eshani N, Nyström M “Fractionation of natural model egg-white protein solutions with modified and unmodified polysulfone UF membranes”, *J. Membr. Sci.*, **123**, 105 (1997)
- [23] De Meulenaer B, Huyghebaert A “Isolation and purification of chicken egg yolk immunoglobulins: A review”, *Food Agric, Immunol.*, **13**, 275 (2001)