





ISSN: 2343 - 6360 / Depósito legal: ppi 201402ZU4464

*No. 15 Julio - Diciembre 2018*

## *Revista Tecnocientífica URU*



**U**niversidad **R**afael **U**rdaneta

---

***Revista Tecnocientífica URU***

ISSN: 2343 - 6360 / Depósito legal: ppi 201402ZU4464

2018© Fondo Editorial Biblioteca Universidad Rafael Urdaneta  
Facultad de Ingeniería  
Maracaibo, Venezuela

Diseño y Maquetación: Lcda. Hosglas Sanchez

SE ACEPTAN CANJES

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta revista en cualquier forma, sin la autorización de los editores.



FONDO EDITORIAL BIBLIOTECA

**U**niversidad **R**afael **U**rdaneta

---

## ***Revista Tecnocientífica URU***

ISSN: 2343 - 6360 / Depósito legal: ppi 201402ZU4464

### **Comité Editorial**

Profesor Jubert Pérez  
Profesor Sergio de Pool  
Profesos Edixon Gutiérrez  
Profesora Jhanna Brieva

Profesor Luis Rojas  
Profesora Russet Riquelme  
Profesor Cezar García  
Profesora Jenny Márquez

Profesor Alfredo Villalobos  
Editor – Jefe

Br. Unarlis Martínez  
Asistente Editorial

### **Comité de Asesores**

MSc. Oscar Urdaneta (Venezuela)  
Dr. Shyam Kalla (India)  
Dr. Cezar García (Venezuela)  
Dr. José Sarabia (Venezuela)  
Dr. José Rincón (Venezuela)  
MSc. Zulay Mármol (Venezuela)  
Dra. Cateryna Aiello (Venezuela)  
Dra. Elba Michelena (Panamá)  
Dr. Rafael Aracil (España)  
MSc. Salvador Conde (Venezuela)  
Dr. Ever Morales (Ecuador)  
Dra. Nola Fernández (Venezuela)  
Dr. Helí Lugo (Venezuela)  
Dr. Ras Patnaik (Estados Unidos)  
Dr. Gerardo Aldana (Venezuela)  
Dra. Susana Salinas (Estados Unidos)  
MSc. Lenin Herrera (Venezuela)  
Dra. Laugeny Díaz (Venezuela)

Dra. Anali Machado (Canadá)  
MSc. Ramón Cadenas (Venezuela)  
Dr. Maulio Rodríguez (Venezuela)  
Dr. Katsuyuki Nishimoto (Japón)  
Dr. Jorge Sánchez (Venezuela)  
Dra. Yaxcelys Caldera (Venezuela)  
Dra. Oladis de Rincón (Venezuela)  
Dr. Nelson Márquez (Venezuela)  
Dr. Ramón Cova (Canadá)  
Dr. Mourad E.H. Ismail (Estados Unidos)  
Dra. Marinela Colina (Venezuela)  
Dr. Freddy Isambert (Venezuela)  
Dr. Miguel Sánchez (Venezuela)  
Dr. Jorge Barrientos (Venezuela)  
Dr. Ernesto Cornieles (Venezuela)  
MSc. Augusto Galo (Venezuela)  
MSc. Nerio Villalobos (Venezuela)

***Revista Tecnocientífica URU*** es un instrumento de divulgación científica adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela. Es una revista arbitrada con periodicidad semestral, contentiva de artículos científicos originales no publicados en las áreas de Ingeniería y Arquitectura y otras disciplinas directamente relacionadas con éstas, de autoría individual o colectiva, que cumplan con las normas de publicación.

La correspondencia debe ser enviada a: Editor Jefe, ***Revista Tecnocientífica URU***.

**Dirección:** Universidad Rafael Urdaneta, Av. 2 c/Calle 86, entrada Sur del Parque Vereda del Lago, Maracaibo, Venezuela.

Teléf. (58) (261) - 2000887, Fax (58)(261) 2000868. Correo electrónico: [revistatecnocientificauru@gmail.com](mailto:revistatecnocientificauru@gmail.com)

***La Revista Tecnocientífica URU*** está indizada en el Índice y Biblioteca Electrónica de Revistas Venezolanas de Ciencia y Tecnología REVENCYT (Código RVR-070)

# **Universidad Rafael Urdaneta**

Dr. Jesús Esparza Bracho, Rector  
Ing. Maulio Rodríguez, Vicerrector Académico  
Ing. Salvador Conde, Secretario

Ing. Oscar Urdaneta  
Decano de la Facultad de Ingeniería

Ing. Rómulo Rincón  
Decano (E) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias

Ing. Jubert Pérez Zabala  
Director de la Escuela de Ingeniería en Computación

Ing. Nancy Urdaneta  
Directora de la Escuela de Ingeniería Civil

Ing. Arnaldo Largo  
Director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica

Ing. Nelson Molero  
Director de la Escuela de Ingeniería Química

Ing. Ana Irene Rivas  
Directora de la Escuela de Ingeniería Industrial

Ing. Carlos Belinskif  
Director de la Escuela de Ingeniería en Telecomunicaciones

Arq. Carlos Aguilar  
Director de la Escuela de Arquitectura

## Contenido

<b>Presentación</b>	9
Factores Ri de sistemas iónicos binarios en medio lácteo. <b>Ri Factors Ionic Binary Systems in the Middle Milk</b> <i>Miriam Rodríguez, César García, Karina Martínez, José González y Gabriela Carruyo.</i>	11
Sincronización de la ovulación con dispositivos intravaginales en vacas mestizas durante un período de siete años. <b>Synchronization of the ovulation with devices intravaginal in cows mestizo during a period of seven years</b> <i>Carlos Ruiz y Lidio Parra.</i>	31
Evaluación microbiológica de leche de vacas Criollo Limonero bajo condiciones de bosque seco tropical. <b>Microbiological evaluation of milk Criollo Limonero under tropical dry forest.</b> <i>Mariangela González, Raúl Ramírez y Katuska Acosta.</i>	39
Transiciones de fase en un sistema alquilcarboxilato de imidazolio/querosén/agua. <b>Phase transitions in imidazolium alkylcarboxylate/kerosene/water system.</b> <i>Belgica Bravo, Maira Jiménez, Gerson Chávez, Nelson Márquez, Nacarid Delgado, Milangel Luzardo, Iran Parra, Mariana Collins y Ana Cáceres.</i>	47
Estudio comparativo del comportamiento sismorresistente de una estructura mixta acero - concreto con aisladores elastoméricos de neopreno. <b>Comparative study of the sismorresistent behavior of a mixed steel structure - concrete with neoprene elastomeric insulators.</b> <i>Hely Urdaneta.</i>	57
Factores que afectan la resistencia a la compresión de las probetas de concreto. Una revisión. <b>Factors affecting the compression strength of the concrete specimens. A review.</b> <i>Jesús Moreno y Oladis Troconis.</i>	69
¿Quién o qué gobierna la conducción de vehículos? <b>Who or which governs the driving of vehicles?</b> <i>José V. Ferrer Bastidas.</i>	81
<b>Índice acumulado</b>	89
<b>Normas para la presentación de artículos</b>	103
<b>Guides for submitting articles</b>	107



## **Presentación**

### **COMPROMISO DE LAS UNIVERSIDADES**

El verdadero compromiso de las Universidades con la Nación, se encuentra consagrado en el Artículo 2 de la Ley de Universidades que dice a letra: “Las Universidades son Instituciones al servicio de la Nación y a ellas corresponde colaborar en la orientación del país mediante su contribución doctrinaria en el esclarecimiento de los problemas nacionales”.

Hoy, quizás la situación del país fuera otra si los gobiernos nacionales hubieran actuado concertadamente con las Universidades en la elaboración de programas de reducción de la dependencia económica, científica y tecnológica con los países industrializados, en la definición de programas socioculturales y de asistencia social, y, en general en el esclarecimiento indicadores relevantes que contribuyen al crecimiento autóctono. Pero lamentablemente, el Estado no ha creído, ni confiado en las Universidades como factor de desarrollo.

Por otra parte, existen filosofías, teorías, doctrinas, modelos y paquetes estructurados sobre macroeconomía que han fracasado por la ausencia del componente social, el cual, precipita los conflictos políticos hasta lograr cambios significativos de los dirigentes de una nación; indiscutiblemente esto, genera expectativas en el nuevo proceso político que se configura, y, que fundamentalmente debe tener como horizonte emerger de la crisis, sin embargo, lamentablemente el ciclo de contienda se repite.

Esta situación recurrente en creer que la situación política por si sola es la panacea, es un error, es desconocer los procesos históricos de los pueblos que han logrado establecer una economía autosuficiente y de satisfacciones colectivas apoyadas en un desarrollo tecnológico propio. En el año de 1993, la Academia de Ciencias de Suecia, otorgó el premio Nobel en Economía a dos investigadores sobre Historia Económica; no hay duda que el imperio inglés se consolidó gracias a la ventaja tecnológica de la máquina de vapor. Venezuela ha vivido recientemente situaciones complejas debido a los cambios en los procesos políticos, lo que ha dado lugar, al declive y detrimento de la economía.

Hay una reflexión de L. Walesa sobre nuestro futuro y en la que he creído siempre: “Los cambios políticos de los países de economía dependiente del contexto internacional, pudiesen ser imperceptibles sino se cuenta con tecnologías autóctonas que luchen por la independencia científica y así por una economía autosuficiente de satisfacciones colectivas”.

En estos años, el grado de separación entre el Gobierno y las Universidades Nacionales han recibido varios titulares – “Divorcio Gobierno Universidades”; “Las Universidades están de espaldas al país”; “Las Universidades perdieron el paso de la Historia”.

En las Universidades Públicas y Privadas existen evidentes demostraciones de capacidad científica y tecnológica acumulada en estos años de formación, capacitación, entrenamiento, especialización y perfeccionamiento de su Personal Docente y de Investigación que son de suma utilidad en cualquier programa gubernamental de investigación social y de desarrollo industrial.

Por otro lado, el liderazgo universitario debe formar parte de los escenarios nacionales en el análisis y discusión de los problemas del país. Corresponde, a estas entidades de acuerdo con el mandato de Ley señalar las orientaciones para resolver los diversos conflictos de la sociedad; éstas deben ser capaces de proponer programas económicos, culturales, sociales, y de cualquier otro que se requiera para hacer frente a la crisis hospitalaria, la escasez de agua, la crisis eléctrica, la inseguridad familiar, el déficit fiscal, y, demás conflictos que perturben la calidad de vida de los ciudadanos.

**Profesor Cezar García**

**Miembro del Comité Editorial.**



# Factores $R_i$ de sistemas iónicos binarios en medio lácteo

Miriam Rodríguez<sup>1</sup>, César García<sup>2</sup>, Karina Martínez<sup>3</sup>, José González<sup>3</sup> y Gabriela Carruyo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>División de Postgrado. Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia.  
Maracaibo - Venezuela.

<sup>2</sup>Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Urdaneta.  
Maracaibo – Venezuela.

<sup>3</sup>Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia.  
Maracaibo – Venezuela.

Correo electrónico: cgarcia@uru.edu y mairim\_128@hotmail.com

Recibido: 11/04/2018

Aceptado: 04-02-2019

## Resumen

En el presente trabajo de investigación se desarrolla un modelo teórico de transferencia de masa para sistemas iónicos binarios en medio lácteo. La transferencia de masa de sistemas iónicos, involucra mecanismos asociados de difusión y migración iónica. El gradiente de concentración en la fase correspondiente genera acumulación de cargas iónicas al inicio de la transferencia que se traduce en un campo electrostático, acoplándose al flujo puramente difusional para establecer la equivalencia de los flujos del sistema iónico. El factor  $R_i$  definido como el cociente del flujo de Nernst-Planck entre el flujo de Fick bajo las mismas condiciones de transferencia de masa, puede ser expresado como el cociente del coeficiente efectivo de transferencia de masa entre el coeficiente de transferencia de masa puramente difusional. El factor  $R_i$  mide la importancia del flujo de migración iónica en la transferencia de masa de sistemas iónicos. Esto significa que cualquier diseño, despreciando los efectos de migración iónica, puede resultar en un sobre-diseño de columnas. El objetivo general de ésta investigación es desarrollar el modelo teórico de transferencia de masa para sistemas iónicos binarios con los mecanismos de difusión y migración iónica para las fases líquida y sólida en términos de los factores  $R_i$  y con aplicación de los sistemas iónicos  $Na^+ - Ca^{+2}$ ,  $Cl^- - OH^-$ , en medio lácteo. Se obtuvieron los siguientes valores extremos del factor  $R_i$  en medio lácteo a 25 °C para los siguientes sistemas:  $Na^+ - Ca^{+2} - OH^-$  ( $R_{Na^+} = 0.70$ ),  $Cl^- - OH^- - Na^+$  ( $R_{Cl^-} = 0.0012$ ).

**Palabras clave:** Intercambio iónico en leche, sistemas iónicos binarios, modelo de Nernst-Planck, Fick, migración iónica

## $R_i$ factors ionic binary systems in the middle milk

### Abstract

This research develops a theoretical model for mass transfer between binary ionic systems dairy media. Mass transfer of ionic systems involves associated mechanisms of diffusion and ion migration. The concentration gradient generated at the stage of accumulation of ionic charges at the beginning of the transfer results in an electrostatic field, coupling to purely diffusional flow to establish the equivalence of ion flows in the system.  $R_i$  factor defined as the ratio of flow between the Nernst-Planck Fick flow under the same conditions of mass transfer, can be expressed as the ratio of the effective coefficient of mass transfer between the purely diffusional mass transfer coefficient.  $R_i$  factor measures the importance of the flow of ionic migration in the mass transfer of ionic systems. This means that any design, neglecting the effects of ionic migration may result in columns overdesign. The overall objective of this research is to develop theoretical model of mass transfer for binary systems with ionic diffusion and migration mechanisms for both ionic liquid and solid phases in terms of the factors  $R_i$  and application of ionic systems  $Na^+ - Ca^{+2} - OH^-$ , in milky media. We obtained the following values for  $R_i$  factor at 25°C in milky media for the following systems:  $Na^+ - Ca^{+2} - OH^-$  ( $R_{Na^+} = 0.70$ ),  $Cl^- - OH^- - Na^+$  ( $R_{Cl^-} = 0.0012$ ).

**Key words:** Ion exchange in milk, binary ionic systems, model Nernst-Planck, Fick, ionic migration

## Introducción

A través del intercambio iónico se ha logrado obtener leche mejorada nutricionalmente, caracterizada por un alto contenido de calcio; además es fundamental en los procesos de desmineralización y desalinización del suero, en la recuperación de las proteínas del suero, la recuperación de lactosa, preparación de caseína y sustitución de iones en la leche para ser consumida por personas con dietas hiposódicas; y adicionalmente permitirá mantener su estabilidad fisicoquímica al aumentar el contenido de fosfato presente en la solución; de tal manera de minimizar la alteración de sus propiedades nutricionales al momento de procesarla [1, 3].

El intercambio iónico constituye una herramienta potencial en los tratamientos de remoción y fraccionamiento de solutos y cada día encuentra extensas y variadas utilidades en las diferentes áreas industriales. Además de las aplicaciones ya conocidas en la purificación y tratamiento del agua, el intercambio iónico se utiliza para desmineralizar líquidos azucarados y jarabes, controlar la acidez, olor, color, sabor y contenido en sal de alimentos [2, 5].

En la industria láctea el proceso de intercambio iónico es fundamental en la desmineralización y desalinización del suero, la recuperación de las proteínas del suero, la recuperación de la lactosa, preparación de caseína y la sustitución de iones en la leche. En la fabricación de leche en polvo para fórmula infantil tiene un especial reconocimiento, permite el ajuste de la concentración de minerales y la proporción de Ca:P es el paso más sofisticado en la fabricación de esta leche y para este propósito, el suero se desmineraliza con resinas de intercambio iónico [3, 6]. Actualmente se dispone de múltiples resinas intercambiadoras de iones de capacidades variadas bien definidas (Amberlitas, Dowex, Zeo-carb, Deacidita, entre otras.), las cuales han hecho posible que el intercambio iónico se convierta en una herramienta potencial en la industria lechera [2, 14].

La velocidad de intercambio es controlada por procesos difusionales. La velocidad de transferencia de masa puede ser controlada por difusión entre el volumen de solución y la superficie del intercambiador, por difusión dentro de la misma resina o por una combinación de ambas resistencias. La interdifusión de dos especies cargada, generado a partir de un gradiente de concentración, tiende a producir un campo eléctrico que acopla los flujos de intercambio de los iones. A medida que los iones más rápidos tienden a migrar a una velocidad más alta, la acumulación de las cargas genera un gradiente de potencial eléctrico que retarda al ion más rápido y acelera al más lento. De esta manera, el desequilibrio de los flujos puramente difusionales de los dos iones de intercambio se corrige automáticamente por un campo eléctrico autoinducido a los procesos de transporte, con lo que la aplicación de la equivalencia adecuada de los flujos iónicos necesarios para preservar la electroneutralidad [4, 12, 13].

Para el diseño de columnas de intercambio iónico se requiere del conocimiento detallado de datos de equilibrio, cinética y el coeficiente de transferencia de masa en fase líquida incluido el flujo por migración iónica y el coeficiente de transferencia de masa en fase líquida sin inclusión del flujo por migración iónica, para calcular los factores  $R_i$  en la fase líquida. El objetivo general de esta investigación es desarrollar el modelo teórico de transferencia de masa para sistemas iónicos binarios con los mecanismos de difusión y migración iónica para las fases líquida en términos de los factores  $R_i$  y con aplicación de los sistemas iónicos  $Na^+ - Ca^{+2}$ ,  $Na^+ - Mg^{+2}$ ,  $Na^+ - K^+$ ,  $Cl^- - OH^-$ ,  $Cl^- - PO_4^{-3}$  en medio lácteo.

La investigación será llevada a cabo, a través del modelo teórico de intercambio iónico en fase líquida según Van Brocklin David el cual se realizará en Excel con los valores de difusividad. En medio lácteo las difusividades se determinarán en la fase sólida con data experimental de trabajos de grado de la literatura, a través de la programación del modelo teórico (Ecuación de Vermeulen) en el programa Curve Expert 1.3, luego llevados a la fase líquida, estimados con la ecuación de Kataoka-Yoshida para los diferentes sistemas. Teniendo las difusividades en medio lácteo se obtiene el factor  $R_i$  en fase líquida según Van Brocklin-David.

## Fundamentos Teóricos

Definiendo como factor  $R_i$  el cociente entre el coeficiente de transferencia de masa en fase líquida incluido el flujo por migración iónica ( $k_{fe}$ ) y el coeficiente de transferencia de masa en fase líquida sin inclusión del flujo por migración iónica ( $k_f$ ), [5].

$$R_i = \frac{k_{fe}}{k_f} \quad (1)$$

De acuerdo al modelo de transferencia de masa de película, el coeficiente de transferencia de masa puede expresarse en función de  $D_e$  es la difusividad efectiva del sistema iónico. De esta manera, el factor  $R_i$  puede definirse como el cociente entre la difusividad efectiva del sistema iónico y la difusividad del ión presente en solución bajo las mismas condiciones de transferencia, esto es:

$$R_i = \frac{D_e}{D_i} \quad (2)$$

Otra forma de definir el factor  $R_i$  como el cociente entre el factor efectivo de CHILTON COLBURN ( $Je$ ) y el factor  $J$  de Chilton – Colburn basado en el ión presente en la solución

$$R_i = \frac{Je}{J} = \frac{k_{fe} Sc^{2/3}}{k_f Sc^{2/3}} \quad (3)$$

donde el número de Schmidt está definido en el ión presente en la solución,  $Sc = \mu / \rho D_i$ . Otra forma de definir el factor  $R_i$  como el cociente entre el Flujo de Nernst-Planck y el Flujo de Fick a la interfase del sistema líquido-sólido:

$$R_i = \frac{-D_i \frac{dC_i}{dy} - Z_i C_i D_i \frac{d\psi}{dy}}{-D_i \frac{dC_i}{dy}} \Bigg|_{Interfase} = \frac{\text{Flujo de Nernst – Planck}}{\text{Flujo de Fick}} \Bigg|_{Interfase} \quad (4)$$

Para un sistema binario, los Flujos de Nernst-Planck son:

$$J_1 = -D_1 \frac{dC_1}{dy} - Z_1 C_1 D_1 \frac{d\psi}{dy} \quad (5)$$

$$J_2 = -D_2 \frac{dC_2}{dy} - Z_2 C_2 D_2 \frac{d\psi}{dy} \quad (6)$$

$$J_3 = -D_3 \frac{dC_3}{dy} - Z_3 C_3 D_3 \frac{d\psi}{dy} \quad (7)$$

donde 1 representa al ión inicialmente en solución; 2 al ion inicialmente en la resina; 3 al ión común;  $\psi$  potencial electrostático generado por la acumulación de cargas eléctricas. Re-escribiendo las Ecuaciones Fundamentales de Newman:

Condición de electroneutralidad:

$$Z_1 C_1 + Z_2 C_2 = -Z_3 C_3 \quad (8)$$

donde  $Z_i$  las valencias iónicas de 1, 2, 3

Densidad de corriente de la solución:

$$Z_1 J_1 + Z_2 J_2 = 0, J_3 = 0 \quad (9)$$

La condición  $J_3 = 0$  implica que la resina no intercambia los co-iones, esta consideración resulta válida para resinas sintéticas.

La siguiente ecuación permite evaluar el efecto de migración iónica sobre el proceso de transferencia de masa controlada por la fase líquida, función de las variables del sistema de intercambio iónico.

$$R_i = \frac{\alpha \left\{ \left[ \left( 1 - \frac{Z_1}{Z_2} \right) X_1^* + \left( 1 - \frac{Z_3}{Z_2} \right) \left( -\frac{Z_1}{Z_3} \right) \right] \left[ \frac{H - M \left( -\frac{Z_3}{Z_1} \right) X_1^\circ}{H - M \left( -\frac{Z_3}{Z_1} \right) X_1^*} \right]^{\frac{-Z_3}{M - Z_3}} - \left[ \left( 1 - \frac{Z_1}{Z_2} \right) X_1^\circ + \left( 1 - \frac{Z_3}{Z_2} \right) \left( -\frac{Z_1}{Z_3} \right) \right] \right\}}{(X_1^* - X_1^\circ)} \quad (10)$$

donde:

Las fracciones iónicas equivalentes  $X_1^0$  (en el borde de la película), y a la interfase líquido-sólido,  $X_1^*$

$$\alpha = \frac{Z_2 D_2}{Z_2 D_2 - Z_1 D_1} \quad (11)$$

$$M = 1 - \alpha \left( 1 - \frac{Z_1}{Z_2} \right) \quad (12)$$

$$H = \frac{\alpha (-Z_3) \left( 1 - \frac{Z_3}{Z_2} \right)}{\frac{Z_1}{M} - Z_3} \quad (13)$$

El factor  $R_i$  resulta mayor a la unidad si  $D_1 < D_2$ , esto es el coeficiente de difusividad del ión entrante es menor al coeficiente de difusividad del ión saliente la resina, contrariamente si  $D_1 > D_2$  entonces  $R_i$  resulta menor a la unidad. Los valores límites del factor  $R_i$  están dados a la condición del rango concentrado,  $X_1^* \rightarrow X_1^0 \rightarrow 1$  y según los modelos de transferencia de masa:

$$\text{Modelo de Película: } R_i = \frac{D_2}{D_1} \quad (14)$$

### Procedimiento Experimental

Para evaluar la ecuación (10) es necesario determinar la difusividad de los iones en fase líquida. El coeficiente de difusividad iónica de los iones en la fase líquida para los sistemas en estudio puede

ser estimado por la ecuación (15) de Kataoka-Yoshida a partir de datos experimentales de hinchamiento de la resina.

$$\frac{\bar{D}_i}{D_i} = 0.55e^{-0.174|Z|X(V_H^W/V)} \quad (15)$$

Una vez obtenidas las concentraciones de los iones en la resina, se calculan las difusividades iónicas a partir del modelo transiente de difusividad constante, ecuación (16 y 17). Para intercambio de iones de igual movilidad el coeficiente  $\bar{D}_{AR}$  representa el coeficiente de auto difusividad para el ion entrante a la resina. Para difusión de iones diferentes,  $\bar{D}_{AR}$  representa el coeficiente de difusividad del sistema iónico a través de la resina. La ecuación (16 y 17) han sido aplicadas para determinar la difusividad en fase sólida.

Para el ion que entra a la resina, bajo las siguientes condiciones de transferencia:

1. Con  $t = 0$ ,  $q = 0$
2. Con  $t = \infty$ ,  $q = a$

$$q = a - a \frac{6}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^2} \exp\left(-\frac{m^2 \pi^2 \bar{D}_{AR} t}{R^2}\right) \quad (16)$$

Realizando un ajuste de concentraciones en la resina versus el tiempo por el programa Curve Expert 1.3, se pueden obtener las difusividades de los iones en la resina.

Para el ion que entra a la resina, bajo las siguientes condiciones de transferencia:

1. Con  $t = 0$ ,  $q = a$
2. Con  $t = \infty$ ,  $q = 0$

$$q = a \frac{6}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^2} \exp\left(-\frac{m^2 \pi^2 \bar{D}_{AR} t}{R^2}\right) \quad (17)$$

Bajo control de la fase líquida, la ecuación de la altura del lecho puede escribirse así:

$$H = \frac{U}{k_\ell a_\ell} \int_{n_b^o}^{n_i^o} \frac{dn^o}{R_i (n^o - n^*)} \quad (18)$$

La altura de una unidad de transferencia

$$HTU = \frac{U}{k_\ell a_\ell} \quad (19)$$

Número de unidades de transferencia

$$NTU = \int_{n_b^o}^{n_i^o} \frac{dn^o}{(n^o - n^*) R_i} \quad (20)$$

Altura del lecho:

$$H = HTU \cdot NTU \quad (21)$$

En ausencia de los efectos de migración iónica,

$$NTU = \int_{n_b^0}^{n_i^0} \frac{dn^0}{(n^0 - n^*)} \quad (22)$$

Relación de alturas con migración iónica y en ausencia de los efectos de migración iónica.

$$H / He = \frac{\int_{n_b^0}^{n_i^0} \frac{dn^0}{(n^0 - n^*)}}{\int_{n_b^0}^{n_i^0} \frac{dn^0}{R_i(n^0 - n^*)}} \quad (23)$$

## Resultados y Discusión

### 1. Factores $R_i$ de sistemas iónicos binarios en medio acuoso

La utilización de intercambio iónico como proceso de separación en sus diferentes modos de contacto (por carga, lecho fijo, lecho fluidizado, lecho móvil) ha tenido mayor desarrollo histórico y de experimentación que las teorías sobre equilibrio, cinética y diseño de unidades de transferencia de intercambio. Entre los usos potenciales del intercambio iónico aparece como una herramienta en el procesamiento de alimentos.

El control de equilibrio iónico de la leche permite incorporar o remover elementos como calcio, magnesio, potasio, sodio y cloruros manteniendo la estabilidad de las proteínas de la leche. Las personas con problemas de hipertensión y enfermedades cardíacas se le recomienda la disminución del sodio en la dieta diaria; el uso de la resina catiónica en la forma iónica de calcio permite obtener leche caracterizada por bajo contenido de sodio y alto contenido de calcio [6].

Según los modelos de transferencia de masa, el factor electrostático ( $R_i$ ) del ion entrante en la fase líquida para el modelo de película se define como  $R_i = D_2 / D_1$ . La variación del factor  $R_i$  con el gradiente de concentración, según los valores límites para un rango diluido; está dado por  $X_1^* \rightarrow X_1^0 \rightarrow 0$ ,  $R_i \rightarrow 1$ ,  $D_1 > D_2$  (el coeficiente de difusividad del ion entrante es mayor al coeficiente de difusividad del ion saliente de la resina), para un rango concentrado si  $X_1^* \rightarrow X_1^0 \rightarrow 1$ ,  $R_i \rightarrow D_2 / D_1$ ,  $D_1 < D_2$  (el coeficiente de difusividad del ion entrante es menor al coeficiente de difusividad del ion saliente de la resina).

**Tabla 1. Coeficientes de difusividad de los iones intercambiantes en solución acuosa**

	$Na^+ - Ca^{+2}$		$Cl^- - OH^-$	
T(°C)	$D_{Na^+}$ (cm <sup>2</sup> /s)	$D_{Ca^{+2}}$ (cm <sup>2</sup> /s)	$D_{Cl^-}$ (cm <sup>2</sup> /s)	$D_{OH^-}$ (cm <sup>2</sup> /s)
25	1.34E-5	0.79E-5	2.03E-5	5.67E-5

#### 1.1. Sistema iónico binario sodio-calcio-oxidrilo en medio acuoso en fase líquida

Reacción de Intercambio:  $2NaOH + R_2 - Ca \Leftrightarrow Ca(OH)_2 + 2R - Na$

La expresión analítica del factor  $R_i$  para el sistema  $Na^+ - Ca^{+2} - OH^-$  es la siguiente:

$$A\ 25\ ^\circ C, R_{Na^+} = \frac{6.869}{(X_1^* - X_1^0)} \left\{ \left[ 0.5X_1^* + 1.5 \right] \left[ \frac{17.489 + 2.434X_1^0}{17.489 + 2.434X_1^*} \right]^{1.697} - \left[ 0.5X_1^0 + 1.5 \right] \right\}$$

La Tabla 2 se mostró la variación del factor  $R_i$  con el gradiente de concentración, según los valores límites para un rango diluido; si  $X_1^* \rightarrow X_1^o \rightarrow 0$ ,  $R_i \rightarrow 1$ , para un rango concentrado si  $X_1^* \rightarrow X_1^o \rightarrow 1$ ,  $R_i = D_2/D_1 = 0.585$  a  $25^\circ\text{C}$ , la relación de difusividades resultan menor a la unidad. Como el factor  $R_i$  resulta menor a la unidad, la mayor movilidad del ion sodio genera acumulación de carga en la fase del calcio induciendo un potencial electrostático, retardando así el flujo iónico del sodio y acelerando la movilidad del ion calcio.

De esta manera, el desequilibrio de los flujos puramente difusional de los iones intercambiados es automáticamente corregido por el campo electrostático autoinducido sobre el proceso de transporte, para lograr el flujo iónico requerido para preservar la electroneutralidad, lo que implica que el ión más lento está en la resina y el más rápido en la solución. Por las condiciones de transferencia el factor electrostático va disminuyendo en función del perfil de concentración desde el valor de interfase ( $X_1^*$ ) hasta el valor de mezcla en el seno de la fase líquida ( $X_1^o$ ).

**Tabla 2. Factor electrostático del ion entrante en la fase líquida ( $R_{Na^+}$ ) para el sistema  $Na^+ - Ca^{+2} - OH^-$  en medio acuoso en fase líquida a  $25^\circ\text{C}$**

$X_1^* = 0.00$		$X_1^* = 0.10$		$X_1^* = 0.20$		$X_1^* = 0.30$		$X_1^* = 0.40$		$X_1^* = 0.50$	
$X_1^o$	$R_i$										
0.01	0.9998	0.00	0.9663	0.00	0.9330	0.00	0.9010	0.00	0.8703	0.00	0.8408
0.05	0.9951	0.05	0.9604	0.05	0.9270	0.05	0.8950	0.05	0.8642	0.05	0.8347
0.10	0.9893	0.20	0.9426	0.10	0.9210	0.10	0.8890	0.10	0.8582	0.10	0.8286
0.20	0.9775	0.30	0.9308	0.19	0.9103	0.20	0.8770	0.20	0.8461	0.20	0.8164
0.30	0.9658	0.40	0.9190	0.30	0.8972	0.29	0.8662	0.30	0.8340	0.30	0.8043
0.40	0.9541	0.50	0.9072	0.40	0.8853	0.40	0.8530	0.39	0.8232	0.40	0.7922
0.49	0.9436	0.60	0.8955	0.50	0.8735	0.50	0.8411	0.50	0.8100	0.49	0.7814
0.60	0.9308	0.70	0.8838	0.60	0.8617	0.60	0.8292	0.60	0.7981	0.60	0.7682
0.70	0.9192	0.80	0.8722	0.70	0.8499	0.70	0.8174	0.70	0.7862	0.70	0.7562
0.80	0.9076	0.90	0.8605	0.80	0.8382	0.80	0.8056	0.80	0.7743	0.80	0.7442
0.90	0.8961	0.99	0.8501	0.90	0.8265	0.90	0.7938	0.90	0.7624	0.90	0.7323
1.00	0.8846	1.00	0.8490	1.00	0.8148	1.00	0.7820	1.00	0.7506	1.00	0.7204

**Tabla 2. Continuación**

$X_1^* = 0.60$		$X_1^* = 0.70$		$X_1^* = 0.80$		$X_1^* = 0.90$		$X_1^* = 1.00$	
$X_1^o$	$R_i$								
0.00	0.8124	0.00	0.7851	0.00	0.7588	0.00	0.7335	0.00	0.7091
0.05	0.8062	0.05	0.7789	0.05	0.7526	0.05	0.7273	0.05	0.7029
0.10	0.8001	0.10	0.7728	0.10	0.7464	0.10	0.7211	0.10	0.6967
0.20	0.7879	0.20	0.7605	0.20	0.7341	0.20	0.7087	0.20	0.6843
0.30	0.7757	0.30	0.7483	0.30	0.7218	0.30	0.6964	0.30	0.6719
0.40	0.7636	0.40	0.7361	0.40	0.7096	0.40	0.6841	0.40	0.6596
0.50	0.7515	0.50	0.7239	0.50	0.6974	0.50	0.6719	0.50	0.6485
0.59	0.7406	0.60	0.7118	0.60	0.6852	0.60	0.6596	0.60	0.6350
0.70	0.7274	0.69	0.7009	0.70	0.6730	0.70	0.6474	0.70	0.6228
0.80	0.7153	0.80	0.6876	0.79	0.6621	0.80	0.6353	0.80	0.6106
0.90	0.7033	0.90	0.6756	0.90	0.6488	0.89	0.6244	0.90	0.5984
1.00	0.6914	1.00	0.6635	1.00	0.6368	1.00	0.6110	0.99	0.5875

En las figuras 1-3 se mostraron los valores de la variación del factor  $R_i$  con el gradiente de concentración, para  $X_1^*=0$  y  $X_1^*=1$  (fracción iónica equivalente a la interfase) con los valores de  $X_1^0$  (fracción iónica equivalente en el seno de la solución) (0 a 1, a 25°C para el sistema iónico sodio – calcio. En las figuras se evidenció como disminuye el factor  $R_i$  a medida que aumenta el gradiente de concentración ( $X_1^*$ ,  $X_1^0$ ), hasta llegar al valor límite del cociente de las autodifusividades para cada una de las temperaturas, este valor límite no cambia significativamente con el cambio de temperatura.

En la Figura 1 se apreció el factor  $R_{Na^+}$ , para  $X_1^*=0$  valores entre 0.87 hasta 1.0 como función de la concentración en la solución ( $X_1^0$ ), lo cual demostró la variación con las condiciones puntuales de la fuerza impulsora y con los valores extremos. Para las mismas condiciones de intercambio en la Figura 2 se observó la variación del factor electrostático para la concentración en la interfase ( $X_1^*=1,0$ ) con valores entre 0.50 hasta 0.80. En la Figura 3 se observó la variabilidad del factor  $R_i$  para valores de concentración de interfase entre  $X_1^*=0$  y  $X_1^*=1,0$  se encuentran con valores entre 0.50 hasta 1.00 a una temperatura de 25°C.

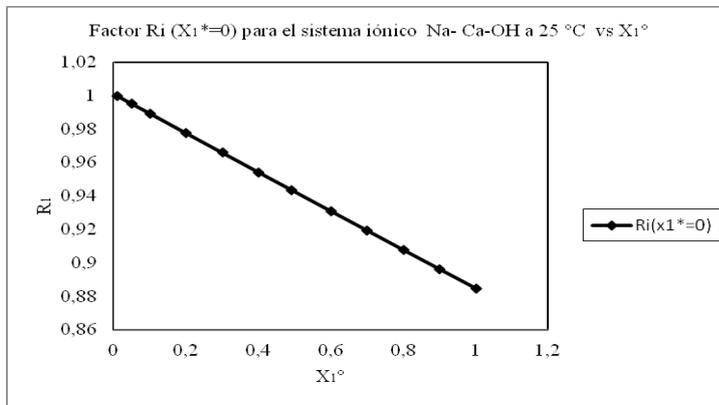


Figura 1. Variabilidad del factor  $R_i$  ( $X_1^*=0$ ) para el sistema iónico  $Na^+ - Ca^{+2} - OH^-$  en medio acuoso a 25 °C.

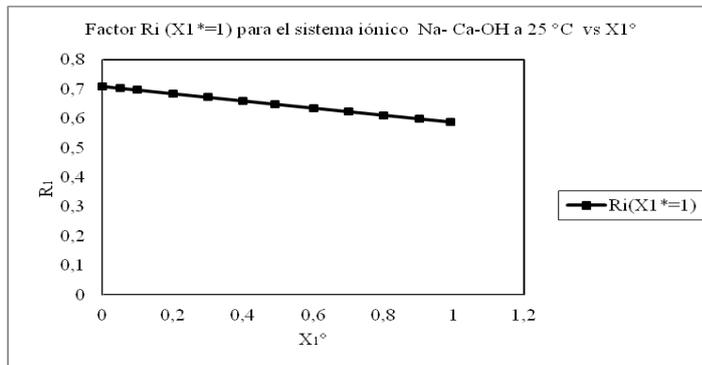


Figura 2. Variabilidad del factor  $R_i$  ( $X_1^*=1$ ) para el sistema iónico  $Na^+ - Ca^{+2} - OH^-$  en medio acuoso a 25 °C.

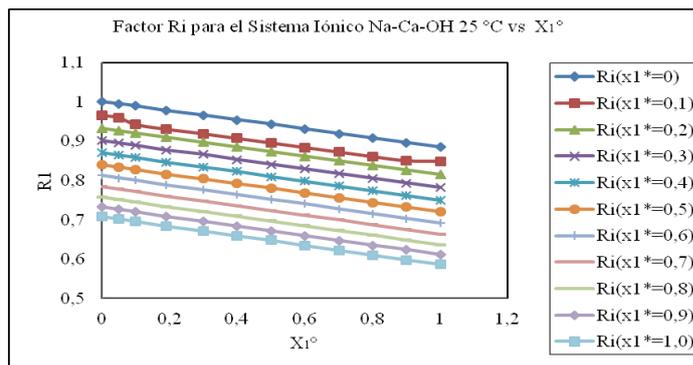


Figura 3. Variabilidad del factor  $R_i$  en medio acuoso para el sistema iónico  $Na^+ - Ca^{+2} - OH^-$  a 25 °C.

### 1.2. Sistema iónico binario cloruro-hidroxilo-sodio en medio acuoso en fase líquida

Reacción de Intercambio:  $NaCl + R - OH \Leftrightarrow R - Cl + NaOH$

La expresión analítica del factor  $R_i$  para el sistema  $Cl^- - OH^- - Na^+$  es la siguiente:

$$\text{A } 25^\circ\text{C, } R_{Cl^-} = \frac{1.558}{(X_1^* - X_1^o)} \left\{ [2] \left[ \frac{1.558 - X_1^o}{1.558 - X_1^*} \right]^{0.5} - [2] \right\}$$

En la Tabla 3 se mostró la variación del factor  $R_i$  con el gradiente de concentración, según los valores límites para un rango diluido; si  $X_1^* \rightarrow X_1^o \rightarrow 0$ ,  $R_i \rightarrow 1$ , para un rango concentrado si  $X_1^* \rightarrow X_1^o \rightarrow 1$ ,  $R_i \rightarrow D_2 / D_1$   $R_{Cl^-} = D_2 / D_1 = 2.79$  a  $25^\circ\text{C}$ , para el sistema cloruro-sodio-oxidrililo. La relación de difusividades resulta mayor a la unidad, lo que implica que el ión más lento está en la solución y el más rápido en la resina.

Como el factor  $R_i$  resulta mayor a la unidad, la mayor movilidad del ion oxidrililo genera acumulación de carga en la fase del ión cloruro induciendo un potencial electrostático, retardando así el flujo iónico del oxidrililo y acelerando la movilidad del ion cloruro. De esta manera, el desequilibrio de los flujos puramente difusional de los iones intercambiados es automáticamente corregido por el campo electrostático autoinducido sobre el proceso de transporte, para lograr el flujo iónico requerido para preservar la electroneutralidad, Por las condiciones de transferencia el factor electrostático va aumentando en función del perfil de concentración desde el valor de interfase ( $X_1^*$ ) hasta el valor de mezcla en el seno de la fase líquida.

**Tabla 3. Factor  $R_i$  para el Sistema  $Cl^- - OH^- - Na^+$  en fase líquida a  $25^\circ\text{C}$**

$X_1^* = 0.00$		$X_1^* = 0.10$		$X_1^* = 0.20$		$X_1^* = 0.30$		$X_1^* = 0.40$		$X_1^* = 0.50$	
$X_1^o$	$R_i$										
0.01	1.0016	0.00	1.0509	0.00	1.1079	0.00	1.1723	0.00	1.2458	0.00	1.3305
0.05	1.0081	0.05	1.0596	0.05	1.1172	0.05	1.1824	0.05	1.2567	0.05	1.3424
0.10	1.0166	0.09	1.0668	0.10	1.1269	0.10	1.1928	0.10	1.2680	0.10	1.3548
0.20	1.0343	0.20	1.0876	0.19	1.1452	0.20	1.2148	0.20	1.2919	0.20	1.3808
0.30	1.0534	0.30	1.1080	0.30	1.1692	0.29	1.2360	0.30	1.3176	0.30	1.4089
0.40	1.0740	0.40	1.1301	0.40	1.1929	0.40	1.2641	0.39	1.3425	0.40	1.4393
0.49	1.0964	0.50	1.1541	0.50	1.2188	0.50	1.2920	0.50	1.3758	0.49	1.4691
0.60	1.1210	0.60	1.1804	0.60	1.2471	0.60	1.3227	0.60	1.4091	0.60	1.5091
0.70	1.1480	0.70	1.2094	0.70	1.2784	0.70	1.3566	0.70	1.4461	0.70	1.5496
0.80	1.1782	0.80	1.2418	0.80	1.3133	0.80	1.3945	0.80	1.4874	0.80	1.5951
0.90	1.2122	0.90	1.2784	0.90	1.3528	0.90	1.4374	0.90	1.5343	0.90	1.6466
1.00	1.2512	1.00	1.3203	1.00	1.3982	1.00	1.4868	1.00	1.5883	1.00	1.7061

Tabla 3. Continuación

$X_1^* = 0.60$		$X_1^* = 0.70$		$X_1^* = 0.80$		$X_1^* = 0.90$		$X_1^* = 1.00$	
$X_1^o$	$R_i$								
0.00	1.4295	0.00	1.5470	0.00	1.6891	0.00	1.8653	0.00	2.0907
0.05	1.4426	0.05	1.5615	0.05	1.7054	0.05	1.8838	0.05	2.1121
0.10	1.4562	0.10	1.5765	0.10	1.7222	0.10	1.9029	0.10	2.1343
0.20	1.4848	0.20	1.6083	0.20	1.7579	0.20	1.9435	0.20	2.1813
0.30	1.5157	0.30	1.6426	0.30	1.7965	0.30	1.9875	0.30	2.2323
0.40	1.5493	0.40	1.6800	0.40	1.8385	0.40	2.0354	0.40	2.2881
0.50	1.5859	0.50	1.7208	0.50	1.8845	0.50	2.0880	0.50	2.3429
0.59	1.6221	0.60	1.7658	0.60	1.9352	0.60	2.1461	0.60	2.4171
0.70	1.6711	0.69	1.8106	0.70	1.9917	0.70	2.2109	0.70	2.4929
0.80	1.7214	0.80	1.8721	0.79	2.0487	0.80	2.2841	0.80	2.5787
0.90	1.7786	0.90	1.9361	0.90	2.1281	0.89	2.3588	0.90	2.6771
1.00	1.8447	1.00	2.0104	1.00	2.2125	1.00	2.4653	0.99	2.7797

En las figuras 4-6 se observaron los valores de la variación del factor  $R_i$  con el gradiente de concentración, para  $X_1^* = 0$  y  $X_1^* = 1$  con los valores de  $X_1^o$  de 0 a 1 a 25°C para el sistema iónico cloruro-oxidrilo. En las figuras se graficó como aumenta el factor  $R_i$  a medida que aumenta el gradiente de concentración ( $X_1^*$ ,  $X_1^o$ ), hasta llegar al valor límite del cociente de las autodifusividades para cada una de las temperaturas, este valor límite no cambia significativamente con el cambio de temperatura.

En la Figura 4 puede apreciarse el factor  $R_{Cl^-}$ , para  $X_1^* = 0$  alcanza valores entre 1.0 hasta 1.3 como función de la concentración en la solución ( $X_1^o$ ), lo cual demostró la variación con las condiciones puntuales de la fuerza impulsora y con los valores extremos. Para las mismas condiciones de intercambio en la Figura 5 se evidenció la variación del factor electrostático para la concentración en la interfase ( $X_1^* = 1,0$ ) con valores entre 2.00 hasta 2.80. En la Figura 6 se observó la variabilidad del factor  $R_i$  para valores de concentración de interfase entre  $X_1^* = 0$  y  $X_1^* = 1,0$  se encuentran con valores entre 1.00 hasta 2.80 a una temperatura de 25°C.

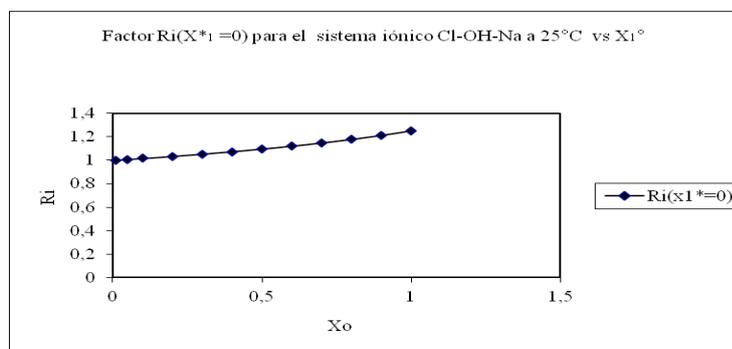


Figura 4. Variabilidad del factor  $R_i$  ( $X_1^* = 0$ ) para el sistema iónico  $Cl^- - OH^- - Na^+$  a 25°C

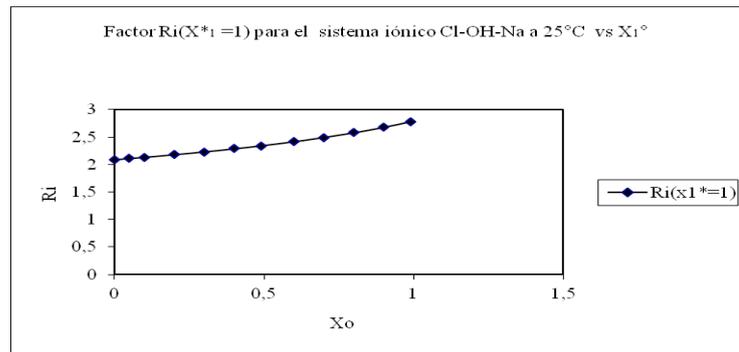


Figura 5. Variabilidad del factor  $R_i$  ( $X_1^* = 1$ ) para el sistema iónico  $Cl^- - OH^- - Na^+$  a  $25^\circ C$

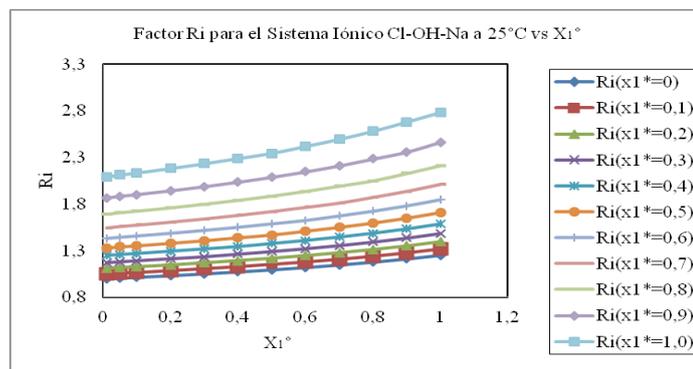


Figura 6. Variabilidad del factor  $R_i$  en medio acuoso para el sistema iónico  $Cl^- - OH^- - Na^+$  a  $25^\circ C$ .

Para los sistemas estudiados puede observarse que los factores  $R_i$  resultan mayores a la unidad para el ion intercambiante de menor difusividad y menor a la unidad para el ion intercambiante de mayor difusividad como se mostró en la Tabla 4. El incremento de la valencia iónica y disminución de la movilidad del ion saliente, causa disminución del factor  $R_i$  para el ion entrante a la resina.

Tabla 4. Factor  $R_i$  para Sistema Iónicos Binarios en medio acuoso

Sistemas Iónicos	$Na^+ - Ca^{+2}$	$Cl^- - OH^-$
$R_i$ ion entrante a $25^\circ C$	0.585	2.79

## 1.2. Factores $R_i$ de sistemas iónicos binarios en medio lácteo

Tabla 5. Coeficientes de difusividad de los iones intercambiantes en medio lácteo en fase líquida.

T( $^\circ C$ )	$Na^+ - Ca^{+2}$		$Cl^- - OH^-$	
	$D_{Na^+}$ ( $cm^2/s$ )	$D_{Ca^{+2}}$ ( $cm^2/s$ )	$D_{Cl^-}$ ( $cm^2/s$ )	$D_{OH^-}$ ( $cm^2/s$ )
25	9.7020E-9	6.7835E-9	3.4967E-7	4.2798E-5

### 2.1. Sistema iónico binario sodio-calcio-oxidrilo en medio lácteo en fase líquida

La expresión analítica del factor  $R_i$  para el sistema  $Na^+ - Ca^{++} - OH^-$  es la siguiente:

$$A\ 25^\circ C, R_{Na^+} = \frac{3.51}{(X_1^* - X_1^\circ)} \left\{ \left[ 0.5X_1^* + 1.5 \right] \left[ \frac{-16.22 + 0.755X_1^\circ}{-16.22 + 0.755X_1^*} \right]^{-3.08} - \left[ 0.5X_1^\circ + 1.5 \right] \right\}$$

Para el sistema sodio-calcio-oxidrilo,  $R_{Na^+} = \frac{D_2}{D_1} = 0.699$  a  $25^\circ\text{C}$

La Tabla 6 se mostró la variación del factor  $R_i$  con el gradiente de concentración en medio lácteo, según los valores límites para un rango diluido; si  $X_1^* \rightarrow X_1^o \rightarrow 0$ ,  $R_i \rightarrow 1$ , para un rango concentrado si  $X_1^* \rightarrow X_1^o \rightarrow 1$ ,  $R_{Na^+} = \frac{D_2}{D_1} = 0.699$  a  $25^\circ\text{C}$ . La relación de difusividades resulta menor a la unidad.

**Tabla 6. Factor  $R_i$  para el Sistema  $Na^+ - Ca^{++} - OH^-$  en medio lácteo en fase líquida a  $25^\circ\text{C}$**

$X_1^* = 0.00$		$X_1^* = 0.10$		$X_1^* = 0.20$		$X_1^* = 0.30$		$X_1^* = 0.40$		$X_1^* = 0.50$	
$X_1^o$	Ri										
0.01	0.9995	0.00	0.9788	0.00	0.9576	0.00	0.9367	0.00	0.9160	0.00	0.8955
0.05	0.9966	0.05	0.9751	0.05	0.9538	0.05	0.9328	0.05	0.9120	0.05	0.8914
0.10	0.9929	0.09	0.9638	0.10	0.9500	0.10	0.9289	0.10	0.9080	0.10	0.8873
0.20	0.9856	0.20	0.9562	0.19	0.9431	0.20	0.9210	0.20	0.8999	0.20	0.8791
0.30	0.9781	0.30	0.9484	0.30	0.9344	0.29	0.9137	0.30	0.8917	0.30	0.8706
0.40	0.9706	0.40	0.9405	0.40	0.9264	0.40	0.9048	0.39	0.8841	0.40	0.8621
0.49	0.9636	0.50	0.9324	0.50	0.9183	0.50	0.8964	0.50	0.8748	0.49	0.8543
0.60	0.9550	0.60	0.9243	0.60	0.9101	0.60	0.8880	0.60	0.8662	0.60	0.8445
0.70	0.9471	0.70	0.9160	0.70	0.9017	0.70	0.8794	0.70	0.8574	0.70	0.8356
0.80	0.9390	0.80	0.9075	0.80	0.8932	0.80	0.8707	0.80	0.8484	0.80	0.8264
0.90	0.9308	0.90	0.8998	0.90	0.8846	0.90	0.8618	0.90	0.8394	0.90	0.8172
1.00	0.9224	1.00	0.8990	1.00	0.8758	1.00	0.8528	1.00	0.8301	1.00	0.8077

**Tabla 6. Continuación**

$X_1^* = 0.60$		$X_1^* = 0.70$		$X_1^* = 0.80$		$X_1^* = 0.90$		$X_1^* = 1.00$	
$X_1^o$	Ri								
0.00	0.8752	0.00	0.8552	0.00	0.8354	0.00	0.8158	0.00	0.7965
0.05	0.8711	0.05	0.8510	0.05	0.8311	0.05	0.8114	0.05	0.7920
0.10	0.8669	0.10	0.8467	0.10	0.8267	0.10	0.8070	0.10	0.7874
0.20	0.8584	0.20	0.8381	0.20	0.8179	0.20	0.7980	0.20	0.7783
0.30	0.8498	0.30	0.8293	0.30	0.8089	0.30	0.7888	0.30	0.7690
0.40	0.8411	0.40	0.8203	0.40	0.7998	0.40	0.7796	0.40	0.7595
0.50	0.8322	0.50	0.8113	0.50	0.7906	0.50	0.7701	0.50	0.7509
0.59	0.8241	0.60	0.8021	0.60	0.7812	0.60	0.7605	0.60	0.7401
0.70	0.8140	0.69	0.7936	0.70	0.7716	0.70	0.7508	0.70	0.7302
0.80	0.8047	0.80	0.7832	0.79	0.7629	0.80	0.7409	0.80	0.7201
0.90	0.7952	0.90	0.7735	0.90	0.7520	0.89	0.7318	0.90	0.7099
1.00	0.7856	1.00	0.7636	1.00	0.7420	1.00	0.7206	0.99	0.7005

En la Figura 7 puede apreciarse el factor  $R_{Na^+}$ , para  $X_1^* = 0$  (fracción equivalente en la interfase) alcanza valores entre 1.0 hasta 0.9 como función de la concentración en la solución ( $X_1^o$ ). Para las mismas condiciones de intercambio en la Figura 8 se mostro la variación del factor electrostático para

la concentración en la interfase ( $X_1^* = 1,0$ ) con valores entre 0.80 hasta 0.70. Así mismo, se observó la variación del factor electrostático para valores de interfase entre 0 y 1 a 25 °C en la Figura 9.

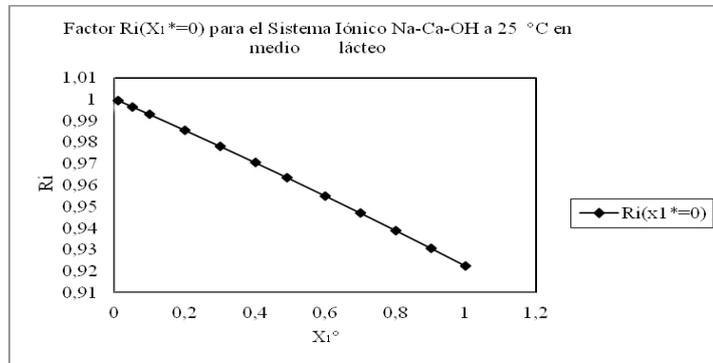


Figura 7. Variabilidad del factor  $R_i (X_1^*=0)$  para el sistema iónico  $Na^+ - Ca^{++} - OH^-$  a 25°C en medio

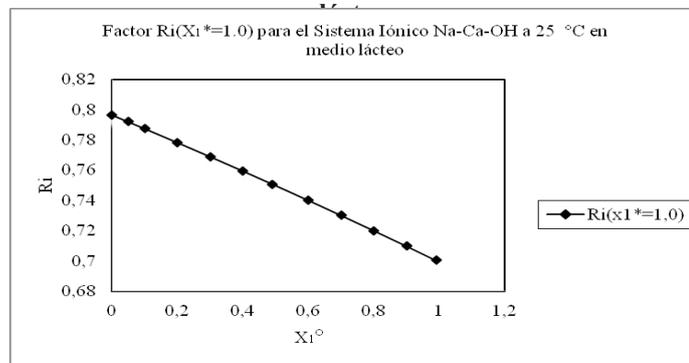


Figura 8. Variabilidad del factor  $R_i (X_1^*=1)$  para el sistema iónico  $Na^+ - Ca^{++} - OH^-$  en medio lácteo a 25°C.

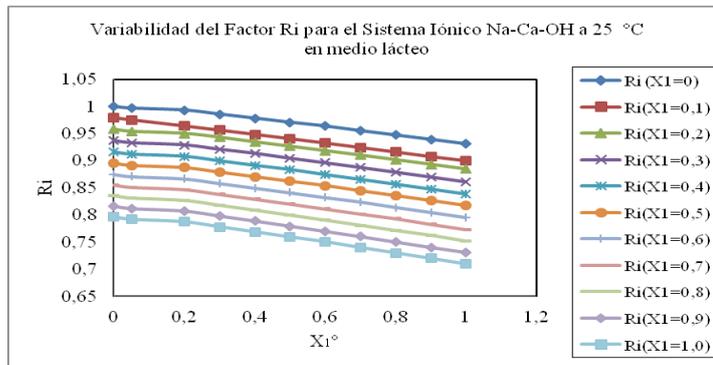


Figura 9. Variabilidad del factor  $R_i$  para el sistema iónico  $Na^+ - Ca^{++} - OH^-$  en medio lácteo a 25°C.

## 2.2. Sistema iónico binario cloruro-oxidrilo-sodio en medio lácteo en fase líquida

La expresión analítica del factor  $R_i$  para el sistema  $Cl^- - OH^- - Na^+$  es la siguiente:

$$\text{A } 25 \text{ } ^\circ\text{C}, R_{Cl^-} = -\frac{0.00122}{(X_1^* - X_1^\circ)} \left\{ [2] \left[ \frac{-0.00122 - X_1^\circ}{-0.00122 - X_1^*} \right]^{0.5} - [2] \right\}$$

Para el sistema cloruro-oxidrilo-sodio,  $R_{Cl^-} = \frac{D_2}{D_1} = 0.00122$  a 25°C

Las Tabla 7 se mostró la variación del factor  $R_i$  con el gradiente de concentración, según los valores límites para un rango diluido; si  $X_1^* \rightarrow X_1^o \rightarrow 0$ ,  $R_i \rightarrow 1$ , para un rango concentrado si  $X_1^* \rightarrow X_1^o \rightarrow 1$ ,  $R_i \rightarrow D_2 / D_1$ ;  $R_{Cl^-} = \frac{D_2}{D_1} = 0.00122$  a 25°C, para el sistema cloruro-sodio-oxidrilo. La relación de difusividades resulta menor a la unidad, lo que implica que el ión más lento está en la resina y el más rápido en la solución.

**Tabla 7. Factor  $R_i$  para el Sistema  $Cl^- - OH^- - Na^+$  en medio lácteo en fase líquida a 25°C**

$X_1^* = 0.00$		$X_1^* = 0.10$		$X_1^* = 0.20$		$X_1^* = 0.30$		$X_1^* = 0.40$		$X_1^* = 0.50$	
$X_1^o$	$R_i$										
0.01	0.4959	0.00	0.0217	0.00	0.0112	0.00	0.0076	0.00	0.0058	0.00	0.0046
0.05	0.2674	0.05	0.0141	0.05	0.0081	0.05	0.0057	0.05	0.0045	0.05	0.0037
0.10	0.1978	0.09	0.0124	0.10	0.0071	0.10	0.0051	0.10	0.0040	0.10	0.0033
0.20	0.1445	0.20	0.0100	0.19	0.0061	0.20	0.0044	0.20	0.0036	0.20	0.0030
0.30	0.1197	0.30	0.0088	0.30	0.0054	0.29	0.0041	0.30	0.0032	0.30	0.0027
0.40	0.1045	0.40	0.0081	0.40	0.0050	0.40	0.0038	0.39	0.0031	0.40	0.0026
0.49	0.0940	0.50	0.0075	0.50	0.0047	0.50	0.0035	0.50	0.0029	0.49	0.0024
0.60	0.0862	0.60	0.0070	0.60	0.0044	0.60	0.0033	0.60	0.0027	0.60	0.0023
0.70	0.0801	0.70	0.0066	0.70	0.0042	0.70	0.0032	0.70	0.0026	0.70	0.0022
0.80	0.0751	0.80	0.0063	0.80	0.0040	0.80	0.0031	0.80	0.0025	0.80	0.0021
0.90	0.0710	0.90	0.0060	0.90	0.0039	0.90	0.0030	0.90	0.0024	0.90	0.0021
1.00	0.0675	1.00	0.0058	1.00	0.0037	1.00	0.0029	1.00	0.0023	1.00	0.0020

**Tabla 7. Continuación**

$X_1^* = 0.60$		$X_1^* = 0.70$		$X_1^* = 0.80$		$X_1^* = 0.90$		$X_1^* = 1.00$	
$X_1^o$	$R_i$								
0.00	0.0039	0.00	0.0033	0.00	0.0029	0.00	0.0026	0.00	0.0023
0.05	0.0031	0.05	0.0027	0.05	0.0024	0.05	0.0022	0.05	0.0020
0.10	0.0029	0.10	0.0025	0.10	0.0022	0.10	0.0020	0.10	0.0018
0.20	0.0026	0.20	0.0023	0.20	0.0020	0.20	0.0018	0.20	0.0017
0.30	0.0024	0.30	0.0021	0.30	0.0019	0.30	0.0017	0.30	0.0016
0.40	0.0022	0.40	0.0020	0.40	0.0018	0.40	0.0016	0.40	0.0015
0.50	0.0021	0.50	0.0019	0.50	0.0017	0.50	0.0015	0.50	0.0014
0.59	0.0020	0.60	0.0018	0.60	0.0016	0.60	0.0015	0.60	0.0014
0.70	0.0019	0.69	0.0017	0.70	0.0016	0.70	0.0014	0.70	0.0013
0.80	0.0019	0.80	0.0017	0.79	0.0015	0.80	0.0014	0.80	0.0013
0.90	0.0018	0.90	0.0016	0.90	0.0015	0.89	0.0013	0.90	0.0012
1.00	0.0018	1.00	0.0016	1.00	0.0014	1.00	0.0013	0.99	0.0012

En la Figura 10 puede apreciarse el factor  $R_{Cl^-}$ , para  $X_1^* = 0$  (fracción equivalente en la interfase) alcanza valores entre 0.50 hasta 0.05 como función de la concentración en la solución ( $X_1^o$ ). Para las mismas condiciones de intercambio en la Figura 11 se evidenció la variación del factor electrostático para la concentración en la interfase ( $X_1^* = 1.0$ ) con valores entre 0.002 hasta 0.001. Así mismo, se observó la variación del factor electrostático para valores de interfase entre 0 y 1 a 25 °C en la Figura 12.

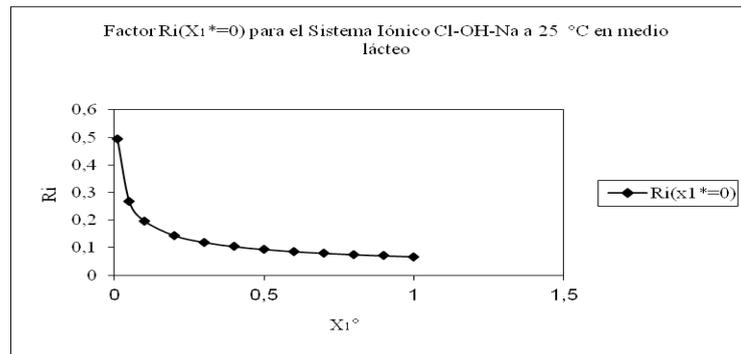


Figura 10. Variabilidad del factor  $R_i (X_1^*=0)$  para el sistema iónico  $Cl^- - OH^- - Na^+$  en medio lácteo a 25°C.

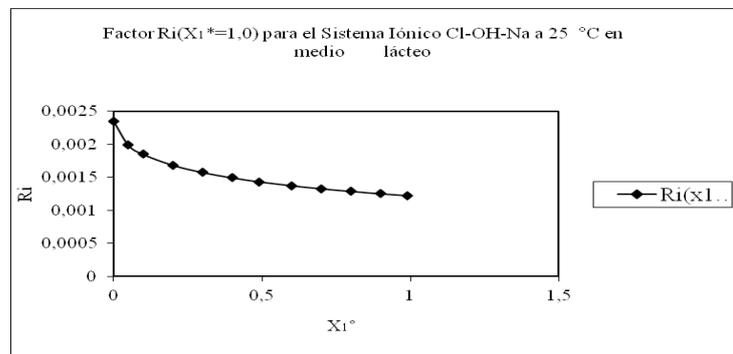


Figura 11. Variabilidad del factor  $R_i (X_1^*=1)$  para el sistema iónico  $Cl^- - OH^- - Na^+$  en medio lácteo a 25°C.

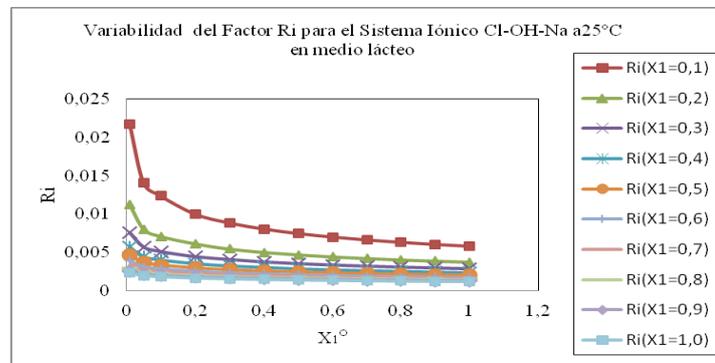


Figura 12. Variabilidad del factor  $R_i$  para el sistema iónico  $Cl^- - OH^- - Na^+$  en medio lácteo a 25°C.

Tabla 8. Factor  $R_i$  para Sistema Iónicos Binarios en medio lácteo

Sistemas Iónicos	$Na^+ - Ca^{+2}$	$Cl^- - OH^-$
$R_i$ ion entrante a 25 °C	0.699	0.00122

### 3. Aplicación del factor $R_i$ en diseño de columnas

#### 3.1. Sistema catiónico $Na^+ - Ca^{+2}$ en medio lácteo a 25°C

Para el sistema iónico  $Na^+ - Ca^{+2}$  donde el ion más rápido está en la solución y el más lento en la resina, el factor electrostático integral resulta menor a la unidad, equivalentes a una relación de alturas  $H/He=0.93$  para un 99.5% de remoción del ion  $Na^+$  en la solución. Esto significa que no tomar en cuenta el efecto de migración iónica puede conducir a una columna más pequeña de la que se requiere,

con el fin de lograr los niveles adecuados de eliminación de los iones de la solución. Como el ion más rápido está en la solución, el factor  $R_{Na^+}$  aumenta del fondo al tope de la columna en contracorriente.

Los efectos de la migración iónica sobre H/He tienden a aumentar con la disminución del porcentaje de remoción. Por ejemplo, para 99.5% de remoción del ion en la solución resulta  $H/He = 0.93$ , lo que indica que la altura de la columna debe ser 7.59% mayor que la altura de la columna basada sin inclusión del efecto de migración iónica, por lo tanto la altura real de la columna debe ser 1.0759 veces más grande. Así, para el sistema  $Na^+ - Ca^{+2}$  donde el factor electrostático  $R_i < 1$  a 25 °C, la relación de H/He presenta valores de 0.93, 0.85, 0.81, y 0.78 para 99.5%, 75%, 50%, y 30% respectivamente de remoción del ion  $Na^+$  de la solución como se presentó en la Tabla 9.

**Tabla 9. Comportamiento de la relación de H/He del sistema  $Na^+ - Ca^{+2}$  para diferente de remoción del ion  $Na^+$  en la solución.**

%Remoción del ion en la solución	H/He	Aporte de altura en (%)
99.5	0.93	7.59
75	0.85	18.16
50	0.81	23.59
30	0.78	27.30

### 3.2. Sistema aniónico $Cl^- - OH^-$ en medio acuoso a 25°C

Para el sistema iónico  $Cl^- - OH^-$  donde el ion más rápido está en la resina y el más lento en la solución el factor electrostático resulta mayor a la unidad con una relación de alturas

$H/He = 1.43$  para un 99.5% de remoción del ion  $Cl^-$  en la solución. Esto significa que no tomar en cuenta el efecto de migración iónica puede conducir a una altura de columna más grande de la que se requiere con el fin de lograr los niveles adecuados de eliminación de los iones de la solución. Así mismo, como el ion más lento está en la solución, el factor  $R_{Cl^-}$  disminuye del fondo al tope de la columna en contracorriente.

Los efectos de la migración iónica sobre H/He tienden a aumentar con la disminución del porcentaje de remoción. Por ejemplo, para 99.5% de remoción del ion en la solución  $H/He = 1.43$  lo que indica que la altura de la columna debe ser 29.9% menor que la altura de la columna basada sin inclusión del efecto de migración iónica, es decir, es 0.7 veces menor. Así, para el sistema  $Cl^- - OH^-$  donde el factor electrostático  $R_i > 1$  a 25 °C, la relación de H/He presenta valores de 1.43, 1.86, 2.16, y 2.40 para 99.5%, 75%, 50%, y 30% respectivamente de remoción del ion  $Cl^-$  de la solución, mostrado en la Tabla 10.

**Tabla 10. Comportamiento de la relación de H/He del sistema  $Cl^- - OH^-$  para diferentes % de remoción del ion  $Cl^-$  en la solución.**

%Remoción del ion en la solución	H/He	Diferencia de altura (%)
99.5	1.43	29.90
75	1.86	46.22
50	2.16	53.71
30	2.40	58.35

## Conclusiones

Del desarrollo del modelo teórico de transferencia de masa con migración iónica para sistemas iónicos binarios, esto es, con los mecanismos de difusión y migración iónica para la fase líquida en tér-

minos de los factores  $R_i$  y con aplicación de los sistemas iónicos  $Na^+ - Ca^{+2}$ ,  $Cl^- - OH^-$ , en medio acuoso y lácteo, se derivan las siguientes conclusiones:

a) En medio acuoso

1. La variación del factor  $R_i$  para los sistemas iónicos  $Na^+ - Ca^{+2}$ , en medio acuoso con el gradiente de concentración, según los valores límites para un rango diluido; está dado por  $X_1^* \rightarrow X_1^o \rightarrow 0$ ,  $R_i \rightarrow 1$ ,  $D_1 > D_2$  (el coeficiente de difusividad del ion entrante es mayor al coeficiente de difusividad del ion saliente de la resina). Por las condiciones de transferencia el factor electrostático va disminuyendo en función del perfil de concentración desde el valor de interfase ( $X_1^*$ ) hasta el valor de mezcla en el seno de la fase líquida ( $X_1^o$ ).

2. El factor  $R_i$  para el sistema iónico  $Na^+ - Ca^{+2}$ , para 25 °C de temperatura, en medio acuoso resulta menor a la unidad, lo que implica, la mayor movilidad del ion en solución genera acumulación de carga en la interfase induciendo un potencial electrostático, retardando así el flujo iónico del ion en la solución y acelerando la movilidad del ion en la resina.

3. El factor  $R_i$  para el sistema iónico  $Na^+ - Ca^{+2}$ , disminuye con la concentración a la interfase desde valores próximos a la unidad para la región diluida  $X_1^* \rightarrow 0$  y para los niveles de saturación  $X_1^* \rightarrow 1$  hasta aproximadamente, 0.58 a 25 °C.

4. Para el sistema iónico  $Cl^- - OH^-$ , el factor electrostático ( $R_i$ ) en medio acuoso con el gradiente de concentración, según los valores límites para un rango concentrado si  $X_1^* \rightarrow X_1^o \rightarrow 1$ ,  $R_i \rightarrow D_2 / D_1$ ,  $D_1 < D_2$  (el coeficiente de difusividad del ion entrante es menor al coeficiente de difusividad del ion saliente de la resina). Así por las condiciones de transferencia el factor electrostático va aumentando en función del perfil de concentración desde el valor de interfase ( $X_1^*$ ) hasta el valor de mezcla en el seno de la fase líquida ( $X_1^o$ ).

5. Para el sistema iónico  $Cl^- - OH^-$ , el factor  $R_i$  incrementa con la concentración a la interfase desde valores igual a la unidad para la región diluida  $X_1^* \rightarrow 0$  y para los niveles de saturación  $X_1^* \rightarrow 1$  hasta aproximadamente 2.79 a 25 °C.

6. La relación de difusividades resulta mayor a la unidad, para el sistema iónico  $Cl^- - OH^-$ , para 25 °C de temperatura, en medio acuoso lo que implica que el ión más lento está en la solución y el más rápido en la resina.

b) En medio lácteo

1. En medio lácteo, la variación del factor  $R_i$  con el gradiente de concentración, según los valores límites para un rango diluido; si  $X_1^* \rightarrow X_1^o \rightarrow 0$ ,  $R_i \rightarrow 1$ , para los sistemas  $Na^+ - Ca^{+2}$ ,  $Cl^- - OH^-$ , la relación de difusividades resulta menor a la unidad. Por las condiciones de transferencia el factor electrostático va disminuyendo en función del perfil de concentración desde el valor de interfase ( $X_1^*$ ) hasta el valor de mezcla en el seno de la fase líquida ( $X_1^o$ ).

2. Para el sistema iónico  $Na^+ - Ca^{+2}$  en medio lácteo a 25 °C, el factor  $R_i$  disminuye con la concentración a la interfase desde valores próximos a la unidad para la región diluida  $X_1^* \rightarrow 0$  y para los niveles de saturación  $X_1^* \rightarrow 1$  hasta aproximadamente 0.70.

3. Para el sistema iónico  $Cl^- - OH^-$  en medio lácteo a 25 °C, el factor  $R_i$  disminuye con la concentración a la interfase desde valores próximos a 0.5 para la región diluida  $X_1^* \rightarrow 0$  hasta aproximadamente 0.0012 para los niveles de saturación  $X_1^* \rightarrow 1$ .

c) En diseño de columnas de intercambio iónico

1. En general cualquier diseño de columnas de intercambio despreciando los efectos de migración iónica pueden conducir a una altura de columna más pequeña o más grande que la realmente necesaria para lograr los niveles adecuados de eliminación o saturación. Los resultados para el control de la fase líquida son dependientes de las limitaciones del modelo de película de transferencia de masa.

2. Para el sistema iónico  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{+2}$  en medio lácteo a  $25^\circ\text{C}$ , donde el ion más rápido está en la solución y el más lento en la resina, el factor electrostático resulta menor a la unidad, tiene una relación de alturas ( $H/\text{He} = 0.93$ ) para un 99.5% de remoción del ion  $\text{Na}^+$  en solución el cual disminuye linealmente con % de remoción del ion en la solución. Esto significa que no tomar en cuenta el efecto de migración iónica puede conducir a una columna más pequeña de la requerida para realizarse el intercambio de iones.

3. Para el sistema iónico  $\text{Cl}^- - \text{OH}^-$  en medio acuoso a  $25^\circ\text{C}$ , donde el ion más rápido está en la resina y el más lento en la solución el factor electrostático resulta mayor a la unidad con una relación de alturas  $H/\text{He} = 1.43$  para un 99.5% de remoción del ion  $\text{Cl}^-$  en la solución, esta relación va aumentando a medida que disminuye el % de remoción del ion en la solución, lo cual es importante ya que no tomar en cuenta el efecto de migración iónica puede conducir a una altura de columna más grande de la que se requiere para la eliminación de los iones de la solución.

4. El modelo teórico desarrollado para la evaluación del efecto de migración iónica asociado al flujo difusional para sistemas binarios de intercambio iónico permite a través del factor  $R_i$  la inclusión en diseño de unidades una aproximación más real al proceso.

5. Cualquier diseño despreciando los efectos de migración iónica puede conducir a una columna más pequeña o más grande que la realmente necesaria para lograr los niveles adecuados de eliminación o saturación.

6. Para el sistema iónico  $\text{Cl}^- - \text{OH}^-$  en medio acuoso a  $25^\circ\text{C}$ , donde el ion más rápido está en la resina y el más lento en la solución el factor electrostático resulta mayor a la unidad la relación de alturas  $H/\text{He}$  varía desde 2.40 hasta 1.43, con el aumento del % de remoción del ion en la solución, para una relación de alturas de 2.40 se tiene una columna 0.4 veces menor que la altura de la columna basada sin inclusión del efecto de migración iónica y para la relación de alturas de 1.43 es de 0.7 veces menor.

7. Para el sistema iónico  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{+2}$  en medio lácteo a  $25^\circ\text{C}$ , donde el ion más rápido está en la solución y el más lento en la resina, el factor electrostático resulta menor a la unidad con una relación de alturas  $H/\text{He}$  que varía desde 0.78 hasta 0.93 con el aumento del % de remoción del ion en la solución, lo que implica para la relación de alturas de 0.78 una columna 1.28 veces mayor que la altura de la columna basada sin inclusión del efecto de migración iónica y para 0.93 una columna de 1.07 veces mayor.

8. Para sistemas donde el factor electrostático sea mayor a la unidad, el efecto de la migración iónica aumenta con el incremento del % de remoción del ion en la solución a diferencia, de sistemas donde el factor  $R_i$  resulta menor a la unidad el efecto es menor.

## Referencias Bibliográficas

- [1] Marín J., Modelo de Nernst-Planck aplicado a la cinética de intercambio iónico en sistemas lácteos. Trabajo de Grado. División de Postgrado. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. (2005)
- [2] Especial: Resinas de intercambio iónico, [En línea]. Obtenido de: <http://Portal Tecno-Ciencia.com>. (2001)
- [3]. Berrocal R., Technical aspects of phosphorus reduction and mineral adaptation in infant formulae, *Monatsschr Kinderheilkd*, Vol. 140, No. 9, (1992), 51-5.
- [4]. García C. & David M., The effects of self-induced electric field on the calculations of moving-bed ion-exchange units. *Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia*, 3 (2), (1980), 125-153
- [5] García C., Fundamentos de Intercambio Iónico. Primera Edición. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. (1997).

- [6] Latham M., Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Colección FAO: Alimentación y nutrición. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, (2002).
- [7] Helfferich, F.(1986). Ion Exchange: past, present, and future. Nato ASI Series, Series E: Applied Sciences, Ion Exchange: Science and Technology.
- [8] Alais, C. (1985). Ciencia de la leche. 4ta Edición. Editorial Reverté. Barcelona, España.
- [9] Martínez, K. (2003). Cinética de intercambio iónico en sistemas lácteos. Trabajo de grado. División de Postgrado. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.
- [10] Larreal, A. (1984). Factor  $R_i$  para la fase líquida controlante en sistemas de intercambio iónico basado en el modelo de capa límite. Trabajo de Ascenso para la Categoría de Asociado. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.
- [11] Davalillo, J. (2006). Cinética de intercambio iónico en medio no acuoso. División de Postgrado. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.
- [12] Larreal A., Arrieta I. & García C. Evaluación del efecto de migración iónica en sistemas de intercambio iónico bajo control mixto. Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia, 8 (2), (1985), 37-50
- [13] Larreal A., Arrieta I. & García C. Factor  $R_i$  para la fase líquida controlante en sistemas de intercambio iónico basado en el modelo de capa límite. Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia, Vol. 7, No.2, (1984), 33-48
- [14] Vecchio A., Finoli C. & Ugolotti G., Ion Exchange resins. Applications in The dairy industry, Industries Alimentary, Vol. 31, No. 303, (1992), 319-326.
- [15] Lecturer`s handbook on Whey and Whey products.(2001).[On -line]. Disponible en: <http://www.euromilk.org/upload/docs/EWPA/Lecturer`shandbookonwhey>
- [16].Hernández, A. (2003). Microbiología industrial. Editorial UNED. Costa Rica.
- [17].Bushill, J.H. y Wright, W.B. (1964). Some physical methods of assessing the effects of processing on the structure and properties of milk. J. Soc. Dayry Technol., 17:3
- [18].Walstra, P. (2001). Ciencia de la leche y tecnología de los productos lácteos. Editorial Acribia. Zaragoza, España
- [19]. Mestres, J. y Romero, R. (2004).Productos lácteos. Tecnología. Primera Edición. Ediciones UPC, S.L. Barcelona.
- [20].Judkins, H. Keener, H. (1984). La leche, su producción y procesos industriales. Editorial Continental. Décimo primera edición. México.
- [21].Lira, J. (2010). Suplementación con ensilado de pescado en vacas lactantes. Trabajo de Grado. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Veracruzana. Veracruz.
- [22].Irausquin, E. (2005). Análisis de la cinética de Intercambio iónico en la leche basado en un modelo de doble resistencia. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela



# **Sincronización de la ovulación con dispositivos intravaginales en vacas mestizas durante un período de siete años**

**Carlos Ruiz y Lidio Parra**

Escuela de Ingeniería de Producción Animal. Facultad de ciencias Agropecuarias.  
Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo – Venezuela.

**Correo electrónico:** lidioparra@hotmail.com

**Recibido:** 23-11-2017

**Aceptado:** 04-02-2019

## **Resumen**

Se realizó un ensayo con el objetivo de determinar la sincronización de la ovulación con esponjas intravaginales conteniendo progesterona de lenta liberación en vacas mestizas durante un período de siete años. El ensayo se llevó a efecto en el Municipio Rosario de Perijá, estado Zulia. La unidad experimental la conformaron vacas mestizas Carora y mestizas cebuinos 3/8 y 5/8. El ensayo se llevó a cabo durante un período de siete años (2007 – 2013). En cada período, al iniciar el ensayo, las vacas seleccionadas fueron examinadas por vía rectal con el objetivo de descartar la presencia de preñez. Luego se aplicaron las esponjas intravaginales a las vacas por un período de 8 días, posterior a la aplicación de las esponjas, se realizaron observaciones diarias con duración de una hora para detectar celo, al final del cual le fue retirado el dispositivo y luego inseminadas. Además, se aplicó Lutalyse 5 cc im, en hembras con cuerpo lúteo ovárico al comienzo del tratamiento. El análisis de los resultados concluyó que con el uso de esponjas intravaginales PREGNAHEAT-E mejoró el porcentaje de celos en vacas mestizas sometidas al tratamiento. En un segundo ensayo se utilizó el producto comercial CIDR-B®, para establecer comparación. Se encontró una alta tasa de fertilidad al primer, segundo y tercer servicio en vacas mestizas que utilizaron esponjas intravaginales durante un período de siete años. Al comparar el efecto de esponjas intravaginales PREGNAHEAT-E y el CIDR-B® se determinó que el efecto fue similar en ambos dispositivos intravaginales respecto a la sincronización del estro y preñez.

**Palabras clave:** Inducción y sincronización de la ovulación, esponjas intravaginales, dispositivos intravaginales

# **Synchronization of the ovulation with devices intravaginal in cows mestizo during a period of seven years**

## **Abstract**

A trial in order to determine the timing of ovulation with intravaginal sponges containing progesterone slow release in crossbred cows for a period of seven years was conducted. It essay is led to effect in the municipality Rosario de Perijá, State Zulia. Carora crossbred cows and mestizo 3/8 and 5/8 cebuinos formed the experimental unit. The essay is carried to out during a period of seven years (2007-2013). In each period, at the start of the trial, the selected cows were examined rectally in order to rule out the presence of pregnancy. Then is applied them sponges intravaginal to them cows by a period of 8 days, back to the application of them sponges, is conducted observations daily with duration of a time to detect zeal, at the end of which you was retired the device and then inseminated. In addition, applied Lutalyse 5 cc im, in females with corpus luteum ovarian to the beginning of the treatment. The analysis of the results concluded that with the use of sponges intravaginal PREGNAHEAT- E improved the percentage of jealousy in cows mestizo subject to the treatment. In a second trial was used the commercial product CIDR - B®, to make comparison. It found a high rate of fertility to the first, second and third service in cows mestizo that used sponges intravaginal during a period of seven years. To compare the effect of intravaginal sponges PREGNAHEAT-E and the CIDR - B® it was determined that the effect was similar in both intravaginal devices regarding the synchronization of estrus and pregnancy.

**Keywords:** Induction and synchronization of ovulation. intravaginal sponges. devices intravaginal

## Introducción

La rentabilidad de la empresa ganadera está fuertemente influenciada por la eficiencia reproductiva del rebaño, la cual tiene efectos cinco y diez veces mayor, que el crecimiento de los becerros y la calidad de la canal, respectivamente. Para incrementar dicha rentabilidad, es necesario alcanzar la meta de un intervalo entre partos promedio de 13 meses, para lo cual las vacas deben ciclar y concebir alrededor de los 90 días postparto.

En la ganadería bovina, se presentaron factores que retrasan la aparición del primer celo post-parto (hasta más de 90 días), entre ellos se pueden mencionar la subnutrición y el amamantamiento, lo que limita de manera importante el logro de la meta de un becerro/vaca/año, y por ende afecta negativamente la rentabilidad de las unidades de producción [7].

La aciclicidad ovárica postparto se conoce con el nombre de anestro postparto y es la causa más frecuente de los largos intervalos entre partos. La duración del anestro está influenciada por muchos factores como el número de partos, edad de la vaca, mestizaje, condiciones ambientales, amamantamiento y estado nutricional.

El anestro posparto o intervalo parto-primer celo, puede definirse como el período de ausencia de ovulación y celo que sigue al parto. Los términos anovulación y anestro son usados como sinónimos en la bibliografía, ambos eventos generalmente no ocurren simultáneamente, ya que la primera ovulación posparto puede ocurrir sin manifestación de celo, hecho que alarga aún más el período de infertilidad [11].

La interrupción del ciclo ovárico después del parto o anestro posparto, es la causa más frecuente de los largos intervalos entre partos [3]. La duración del anestro está influenciada por el número de partos, la edad de la vaca, el mestizaje, las condiciones ambientales, el amamantamiento y el estado nutricional [9].

La duración del anestro limita el tiempo en que una vaca dispone para concebir y uno de los factores que afecta negativamente la eficiencia reproductiva del rebaño (Lofstedt y col. 1981). En este período se produce la involución y reparación tisular del útero y el restablecimiento de la funcionalidad del eje hipotálamo-hipófisis-ovario-útero.

Este proceso comprende la reanudación de la secreción de gonadotropinas, el reinicio de la actividad ovárica, la iniciación de las ovulaciones, la presentación de celos y el desarrollo luteal [10].

Para el control del anestro en vacas con más de 90 días postparto, se han aplicado diversos métodos basados en el uso de la progesterona y progestágenos, a través de diversas vías de administración (oral, implantes subcutáneos, dispositivos intravaginales) combinados con GnRH, eCG, estrógenos, entre otros.

La sincronización del celo proporciona a los productores de ganado de carne un manejo efectivo para maximizar el potencial reproductivo de sus hembras incorporando el mejoramiento genético en su rebaño [5], facilitando el uso de la inseminación artificial [4].

Las esponjas intravaginales producidas en Venezuela, con Acetato de Medroxi-progesterona (MAP; 6 a-methyl-17 a-acetoxy-pregne-4 ene-3,20 dione) son de bajo costo al compararlas con otros métodos como el CIDR. Su utilización en forma preventiva durante el período postparto temprano, permitiría mejorar la baja eficiencia reproductiva reportada en las ganaderías tropicales [7]. El objetivo de este ensayo fue determinar la sincronización de la ovulación con esponjas intravaginales conteniendo progesterona de lenta liberación en vacas mestizas durante un período de siete años.

## Marco Teórico

Palomares et al. [7] para estudiar el efecto del uso de esponjas intravaginales impregnadas con Acetato de Medroxiprogesterona (MAP) sobre la inducción temprana del celo y prevención del anestro postparto, llevaron a cabo un ensayo en una finca comercial en el municipio Rosario de Perijá del estado

Zulia, Venezuela. 76 vacas mestizas acíclicas fueron asignadas a tres tratamientos a los 40-47 días postparto: Progesterona más Estradiol (MAP+E, n=26); Progesterona más GnRH y PGF2a (MAP+GnRH, n= 26) y testigo (T, n= 24).

Las variables estudiadas fueron: Tasa de celo (TC), tasa de ovulación (TO), tasa de concepción al primer servicio (TCPS), tasa de preñez (TP), intervalo tratamiento servicio (ITS), tasa de preñez a los 120 días postparto (TP120), tasa de anestro (TA). Los niveles de Progesterona en leche fueron medidos por R.I.A., para determinar los ciclos ovulatorios.

Las variables fueron analizadas a través de procedimientos de frecuencias y la prueba de Ji-cuadrado del paquete estadístico SAS, a excepción del ITS, medido a través de análisis de varianza. MAP+GnRH presentó mayor TC (62,5%) en comparación con T (27,3%) ( $P<0,05$ ), pero fue similar a MAP+E (47,6%). La TO fue significativamente mayor ( $P<0,05$ ) en MAP+GnRH (57,1%) vs 25% para MAP+E y T. La TCPS estuvo negativamente afectada por los tratamientos MAP+E y MAP+GnRH con 10,0% y 26,7%, respectivamente vs 66,7% para T.

No se encontraron diferencias significativas (n.s) entre los tratamientos en cuanto a ITS, TP, TP120 y TA. En conclusión, las vacas tratadas con MAP+GnRH presentaron una mejor respuesta de celo y ovulación; sin embargo, ninguno de los tratamientos con esponjas intravaginales en el postparto temprano fueron efectivos en mejorar la eficiencia reproductiva y prevenir el anestro postparto.

Perea et al. [8], con el fin de probar un dispositivo intravaginal a base de progesterona para el control del anestro postparto, 42 vacas mestizas multíparas, acíclicas, entre 90 y 120 días postparto y con una condición corporal entre 3 y 4 en la escala del 1 al 5, fueron asignadas en forma aleatoria a uno de los siguientes tratamientos: PH (n=21), esponja intravaginal (EI) con 250 mg de acetato de medroxyprogesterona (MEP) durante 7 días, más 50 mg de MEP y 5 mg de 17 b-estradiol (17b-E) intramuscular (im) el día de inicio del tratamiento y 500 UI de eCG im el día de retiro de la esponja; control (GC, n=21), esponja intravaginal sin MEP por 7 días más la aplicación im de una dosis de solución fisiológica sustituyendo las dosis im de MEP y 17b-E.

Fueron consideradas como variables respuesta los intervalos parto-1er servicio (PS) y parto-concepción (PC) y las tasas de celo, ovulación y preñez. Como respuesta a los tratamientos, se estableció un período de exhibición de celos de 30 días, considerándose la tasa de preñez acumulada a 30, 60 y 90 días. La investigación se llevó a cabo en una finca comercial ubicada en el Municipio Machiques de Perijá del Estado Zulia, Venezuela, en una zona de Bosque Sub-húmedo Tropical.

Los datos se analizaron mediante el procedimiento GLM y la prueba de Chi-cuadrado del SAS. El porcentaje de vacas en celo fue similar entre tratamientos (PH: 50%; control: 36,8%;  $P>0,05$ ); el grupo PH experimentó un tasa de ovulación superior ( $P<0,01$ ) a GC (79 versus 29,4%, respectivamente). La tasa de preñez acumulada a los 90 días no difirió entre tratamientos, sin embargo se registró una diferencia de 18,3% entre PH (55%) y el grupo control (36,8%). No hubo efecto de los tratamientos sobre los intervalos PS y PC (PS:  $150,6 \pm 11,6$  y  $157,7 \pm 13,2$ ; PC:  $156,9 \pm 8,8$  y  $162,0 \pm 9,0$  para PH y GC, respectivamente;  $P>0,05$ ), ni en el porcentaje de vacas en anestro a los 90 días de culminados los tratamientos (20,0 vs. 42,1 % para PH y GC, respectivamente;  $P>0,05$ ).

Flaquer [2], evaluó la aplicación combinada del dispositivo CIDRÆ, GnRH y PGF2a bajo diferentes esquemas en vacas de doble propósito en anestro. El estudio se llevó a cabo en la hacienda Pulhapanzak, ubicada en la zona del lago de Yojoa, Honduras. Se determinó la condición de anestro, palpación rectal e historial en registros para la distribución al azar en grupos.

En el primer grupo (n=15) se utilizó un protocolo GnRH - PGF2a - PGF2a - P4, el segundo grupo (n=15) utilizó el protocolo PGF2a - PGF2a - GnRH - PGF2a - PGF2a - P4 y el tercer grupo (n=20) siguió el protocolo (CIDRÆ + GnRH) - PGF2a - GnRH - P4. Los tres grupos fueron inseminados a celo detectado y recibieron una dosis de 75 mg progesterona (P4) a los 12 días pos-servicio. La aplicación del protocolo GnRH - PGF2a - PGF2a - GnRH - P4 presentó los mejores resultados en porcentaje de sincronización y preñez.

La inducción del celo fue similar entre los protocolos GnRH- PGF2 $\alpha$ - PGF2 $\alpha$  - GnRH - P4 y GnRH- PGF2 $\alpha$ - PGF2 $\alpha$  GnRHPGF2 $\alpha$ -PGF2 $\alpha$  - GnRH - P4 El tratamiento (CIDRÆ + GnRH) - PGF2 $\alpha$  - GnRH - P4 obtuvo el menor número de días entre el final del tratamiento y la presentación de celo pero su costo es el más alto.

Palomares [6], con el objetivo de analizar los diferentes protocolos de sincronización de celos utilizados en bovinos, desde el uso de la prostaglandina F2- $\alpha$ , hasta los desarrollados actualmente y su adaptación a la ganadería tropical, revisó los protocolos de sincronización de celos de fácil aplicación a las condiciones de la ganadería colombiana tropical, para ello, hizo una revisión de la anatomía y fisiología reproductiva del bovino como base de aplicación, la detección del celo y sus consideraciones como principal limitante de la eficiencia reproductiva y de aplicación de biotecnologías.

Las Prostaglandinas como protocolo base que revolucionó la reproducción, su respuesta de muy amplia variación ligada al desarrollo folicular y lúteal, la inclusión de la GnRH como inductor de ovulación da origen al Ovsynch, Heatsynch y CIDR – Synch, utilizados ampliamente y con buen éxito en lechería especializada, La sincronización del desarrollo folicular utilizando GnRH y Ablación Folicular como inductores de la onda 1.5 a 2.0 y 1.5 días post aplicación, respectivamente y la combinación estrógenos y progesterona 5.5 días para valerato de estradiol y 4.3 días para benzoato de estradiol, siendo el más utilizado y eficaz actualmente a nivel mundial.

Finalmente presincronización de novillas pre púberes que aumenta la tasa de ciclicidad en 20% en novillas tratadas con progesterona y estrógeno y los efectos negativos de la Progesterona > 1gr en novillas Bos Indicus, por supresión de los pulsos de LH.

Alcalá y Acosta [1], con el objetivo de exponer los principales protocolos de inducción y sincronización del estro, empleados en la hembra bovina para disminuir el anestro posparto, realizaron un estudio abordando unas temáticas encaminadas al conocimiento de la fisiopatología del sistema endocrino y la dinámica folicular durante el posparto. Presentaron la caracterización realizada por varios autores sobre las diferencias en la fisiología reproductiva entre las hembras Bos taurus y Bos indicus.

En el trabajo se exponen los esquemas de tratamientos hormonales más utilizados para la inducción y sincronización del celo. Los adelantos en el campo de la fisiología de la reproducción y el consiguiente desarrollo en los protocolos de inducción y sincronización del estro, pueden contribuir a mejorar la fertilidad del ganado bovino en los climas tropicales.

Concluyen que es evidente que el anestro posparto es la principal causa del alargamiento del indicador parto-1er servicio. El anestro posparto está condicionado por múltiples factores estrechamente relacionados; los cuales traen consigo fallos en los fenómenos fisiológico y endocrino de los animales. Por tales motivos consideran, que la aplicación de los protocolos reflejados en el trabajo que tienen como base los progestágenos, las gonadotropinas extra hipofisarias y el estradiol; pueden contribuir a mejorar la fertilidad del ganado bovino en los climas tropicales.

## Metodología

El ensayo se llevó a cabo en una hacienda perteneciente a la Ganadería Paso Viejo, C.A., localizada en el Sector La Culebra, jurisdicción de la Parroquia Rosario del Municipio Rosario de Perijá, estado Zulia, a 10 km de la Villa del Rosario de Perijá. Caracterizada agro-ecológicamente por pertenecer a la zona de vida de clima Sub Húmedo tropical SHT.

La unidad experimental la conformaron vacas mestizas Carora y mestizas cebuinos 3/8 y 5/8. Todas las vacas pastorearon en potreros con pasto guinea Mombasa (*Panicum maximum*), Pasto Alemán (*Echinochloa polystachya*), Estrella (*Cynodon nlemfluensis*), Bermuda (*Cynodon dactylon*). Además, fueron suplementadas estratégicamente con una mezcla de melaza-urea (5%), heno y silaje. Se utilizó un sistema de pastoreo semi intensivo.

En cuanto a la sanidad animal, el plan sanitario consistió en la aplicación al rebaño existente en la unidad de producción un tratamiento preventivo y curativo, el cual se basa en un plan de vacunación

contra Aftosa, Estomatitis, Triple, Septicemia, IBC-Lep, RB51 y TBC. Asimismo, se aplican tratamientos contra endoparásitos y ectoparásitos, e igualmente se les suministra vitamina AD3E.

Antes de ser incorporadas al ensayo, las vacas de más de un parto fueron examinadas por vía rectal a los 30 días postparto para determinar las estructuras ováricas presentes y la condición del útero. Además, fueron sometidas a pruebas para descartar la presencia de las anomalías mencionadas.

El ensayo se realizó en dos fases, en la primera se evaluó el uso de las esponjas intravaginales y en la segunda fase se realizó una comparación con el uso de otro dispositivo vaginal (CIDR-B®), en esta fase se emplearon cinco vacas mestizas Carora y mestizas cebuinos 3/8 y 5/8. Antes de ser incorporadas al ensayo, las vacas de más de un parto fueron examinadas por vía rectal a los 30 días postparto para determinar las estructuras ováricas presentes y la condición del útero. Además, fueron sometidas a pruebas para descartar la presencia de las anomalías mencionadas.

En el segundo ensayo se utilizó el producto comercial CIDR-B®, el cual es un dispositivo de aplicación intravaginal a base de progesterona, indicado para la sincronización de servicios y tratamiento del anestro en vacas y vaquillonas de carne o leche.

## Resultados y discusión

Se presentaron buenos porcentajes de presencia de celo en las vacas que fueron tratadas con esponjas intravaginales, esto coincide con lo reportado por Palomares et al. [7], quienes demostraron que las vacas tratadas con esponjas conteniendo MAP+GnRH presentaron una mejor respuesta de celo y ovulación.

**Tabla 1. Porcentajes de preñez total en 8 años (560 esponjas)**

Preñez	n	%
Al 1 <sup>er</sup> servicio	271	48.4
Al 2 <sup>do</sup> servicio	103	18.4
Al 3 <sup>er</sup> servicio	51	9
Total	425	75.8

En la Tabla 1 se presenta el resumen de los porcentajes de preñez total, evidenciando que en el período de 8 años se utilizaron 560 esponjas siendo la efectividad del 75.8%. De acuerdo con los distintos valores encontrados durante el período desde 2007 hasta 2014, se observó que los valores de preñez difieren con los reportados por Chenault y col. (2003), quienes utilizando CIDR (dispositivo vaginal de Progesterona) encontraron porcentaje de preñez al primer servicio de 26.7%, y al segundo servicio de 27.0%, los cuales son inferiores a los encontrados en este estudio.

Por otra parte, los resultados encontrados en este ensayo son similares a los reportados por Stevenson et al. [11], al utilizar CIDR+EB (progesterona + benzoato de estradiol) encontraron preñez al primer servicio de 44.4% y de 40.8% al segundo servicio, mientras que al utilizar CIDR+ECP (progesterona + Cipriato de Estradiol), los resultados fueron superiores obteniendo preñez al primer servicio de 51.7% y 59.5% al segundo servicio.

Al comparar la preñez total en el período de ocho años, se obtuvo 75.8% de efectividad en la preñez al primer, segundo y tercer servicio, siendo inferior al valor reportado por Soto-Belloso (2014), quien utilizó PREGNAHEAT-E, obteniendo una tasa de fertilidad total de 77.5% en vacas mestizas doble propósito.

Al comparar el uso de las esponjas intravaginales con un protocolo CIDR-B® en la sincronización de ovulación, se evidenció presencia de celo y preñez en el 60% de las vacas a las 48 horas luego del tratamiento, 20% a las 72 horas y 20% sin preñez. Según estos resultados, se infiere que el uso adecuado de hormonas sintéticas con el fin de mejorar los procesos reproductivos de los rebaños es una alternativa que está presente, claro está que hay que tomar en cuenta las dificultades de su manejo y aplicación, así como los costos, al momento de aplicar las mismas.

Según resultados expuestos por diferentes investigadores, se pudiera considerar que el porcentaje de éxito de los diferentes protocolos para la sincronización de celo y preñez de los bovinos, varían de un 50 a 67% de efectividad. Cabe destacar que estos resultados son similares a los encontrados por Flaquer [2], quien al evaluar la aplicación combinada del dispositivo CIDRÆ, GnRH y PGF2α bajo diferentes esquemas en vacas de doble propósito en anestro, evidenció que la inducción del celo fue similar entre los protocolos utilizados.

Los resultados indican que el beneficio reproductivo logrado con este dispositivo intravaginal permite el uso de este método en la sincronización del celo, principal problema que afecta la fertilidad de los rebaños de doble propósito en la región. También, es importante destacar que el método ofrece al productor la ventaja de poder programar los servicios reproductivos en función de la mejor época de parición y producción de leche-carne durante el año.

Asimismo, este estudio ha permitido conocer que existen diversos métodos hormonales para el control de la actividad ovárica postparto de las vacas, pero tomando en consideración que su aceptación va a estar en función de los costos, beneficios y aplicación práctica del método seleccionado.

En las fincas que tengan buenos índices reproductivos el control hormonal estará indicado sólo como estrategia para mejorar el grupo de vacas problema, especialmente las que presentan un mayor número de días vacíos. La incorporación de tratamientos hormonales como parte de los programas de mejoramiento de la eficiencia reproductiva del rebaño debe ser siempre secundaria a los planes de alimentación, sanidad y manejo de los animales.

## Conclusiones

Se determinaron altos porcentajes de presencia de celo en vacas mestizas que utilizaron esponjas intravaginales durante un período de siete años, por lo que se concluye que el uso de esponjas intravaginales PREGNAHEAT-E mejoró el porcentaje de celos en vacas mestizas sometidas al tratamiento.

Se determinó la tasa de concepción al primer, segundo y tercer servicio en vacas mestizas que utilizaron esponjas intravaginales durante un período de siete años, concluyendo que se dio una alta tasa de fertilidad en las vacas. En cuanto a la segunda fase del ensayo y haciendo la comparación entre el efecto de esponjas intravaginales PREGNAHEAT-E y el CIDR-B® se determinó que el efecto fue similar en ambos dispositivos intravaginales respecto a la sincronización del estro y preñez.

Es posible concluir en términos generales, que el empleo de esponjas intravaginales para estimular la actividad reproductiva en vacas con anestro es eficiente para lograr estimular la actividad reproductiva. En tal sentido, se conoce que en la actualidad el productor dispone de diversos métodos hormonales para el control de la actividad ovárica postparto de las vacas, pero su aceptación estará siempre ligada a los costos, beneficios y aplicación práctica del método seleccionado.

Por otro lado, la industria ganadera mundial continúa demandando protocolos efectivos que permitan controlar la reproducción de las vacas y hacer un uso más eficiente de las biotecnologías disponibles para la mejora genética de los bovinos. Sólo mediante la investigación sistemática de todos los factores que afectan la función reproductiva de la hembra bovina en el trópico será posible perfeccionar el uso del control hormonal de la actividad ovárica postparto en las vacas mestizas.

## Referencias Bibliográficas

[1] Alcalá Y. & Acosta J.I., Inducción y sincronización del estro en la hembra bovina durante el postparto. *Reseña. Ciencia y Tecnología Ganadera* Vol. 9 No. 1, (2015), p.1-16.

[2] Flaquer J., Respuesta a la inducción y sincronización del celo con CIDRÆ, GnRH y PGF2α en vacas de doble propósito en anestro. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo de la Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Zamorano. Honduras. (2007), 15 p.

- [3] González C.; Soto E.; Goicochea J.; González R. & Soto G., Identificación de los factores causales y control del anestro, principal problema reproductivo en la ganadería mestiza de doble propósito. Premio Agropecuario Banco Consolidado. Caracas, Venezuela. (1988). 90 pp.
- [4] Lane E.A., Austin E.J. & Crowe M.A., Oestrus synchronization in cattle – Current options following the EU regulation restricting use of oestrogenic compounds in food – producing animals: A review. *Animal Reproduction Science*. 109, (2008), 1-16.
- [5] Leitman N., Busch DC., Mallory DA., Wilson DJ., Ellersieck MR., Smith MF. & Patterson DJ., Comparison of long-term CIDR-based protocols to synchronize estrus in beef heifers. *Anim Reprod Sci*. 2009 Sep; Vol. 114, No.4, (2009), 345-55. doi: 10.1016/j.anireprosci.2008.10.014. Epub 2008 Nov 1.
- [6] Palomares S., Revisión de los protocolos empleados en la sincronización de celos en bovinos. Trabajo de Grado. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales – U.D.C.A. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Bogotá D.C. (2009).
- [7] Palomares R., De Ondiz A., Sandoval J., Bravo R., González R. & Soto E., Inducción del celo y fertilidad en vacas mestizas Cebú acíclicas tratadas a los 40 días posparto con esponjas intravaginales impregnadas con progestágenos *Revista Científica, FCVLUZ*. 2, (2002), 371.
- [8] Perea F., Soto E., Ramírez L., González R., Goicochea J. & de Ondiz A., Tratamiento del anestro postparto con progesterona intravaginal mas eCG en vacas mestizas tropicales. *Revista Científica, FCV-LUZ / Vol. XIII, N° 1*, (2003), 38-44
- [9] Rhodes E., Mcdougall S., Burke C.R., Werkerk G.A., Macmillan., Invited Review: Treatment of cows with an extended postpartumanoestrus interval. *J. DairySci*. 86 (2003), 1876.
- [10] Robson C., Aller J.E., Callejas S., Cabodevila J. & Alberio R.H., Factores que afectan el anestro posparto en bovinos *Biotecnología de la Reproducción*. E.E.A. INTA Balcarce, Argentina. (2007)
- [11] Stevenson J., Tenhouse D., Krisher R., Lamb G., Larson J., Dahlen C., Pursley J., Bello N., Fricke P., Wiltbank M., Brusveen D., Burkhart M., Youngquist R. & Garverick H., Detection of anovulation by heatmount detectors and transrectal ultrasonography before treatment with progesterone in a timed insemination protocol. *J Dairy Sci* 91, (2008), 2901–2915.



# Evaluación microbiológica de leche de vacas Criollo Limonero bajo condiciones de bosque seco tropical

Mariangela C. González<sup>1</sup>, Raúl A. Ramírez M.<sup>1</sup> y Katuska del V. Acosta M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas del estado Zulia (INIA-Zulia).

<sup>2</sup>Universidad del Zulia. Laboratorio de Microbiología Agrícola. Facultad de Agronomía.

Correo electrónico: gonzalezma.inia.zulia@gmail.com

Recibido: 14/11/2017

Aceptado: 04-02-2019

## Resumen

El ganado Criollo Limonero constituye un recurso genético autóctono invaluable para América tropical. El control microbiano es necesario en todos los puntos de la cadena láctea. Con el objetivo de evaluar la calidad microbiológica de leche fresca de este tipo de ganado, se realizaron cuatro muestreos consecutivos en un rebaño de 12 vacas Criollo Limonero puro en periodo de lactancia (30-115 días) pertenecientes al INIA-Zulia. Las muestras se tomaron directamente de la ubre de cada vaca en ordeño. Se realizaron mediciones de recuento estándar en placa (Rep) y tiempo de reducción de resazurina (Trr). De acuerdo al análisis de cuadrados mínimos se obtuvieron diferencias significativas ( $p \leq 0,001$ ) para Rep para todos los periodos de lactancia respectivamente, con un conteo promedio de 36.530 UFC/ml<sup>-1</sup> leche cruda, lo cual ubica a la leche de ganado Criollo Limonero, en la categoría A, de acuerdo a lo expuesto en la normativa venezolana vigente. En cuanto al Trr, no se obtuvieron diferencias ( $p \geq 0,05$ ), desarrollándose una coloración azul-celeste, continua en un tiempo de 4 horas lo que se traduce en una leche clase I (muy buena/excelente). Evidenciándose que la leche de ganado Criollo Limonero cumple con las exigencias de calidad microbiológica establecidas en la normativa venezolana.

**Palabras clave:** Atributos de calidad, ganado autóctono, criterio microbiológico

## Microbiological evaluation of milk criollo limonero under tropical dry forest

### Abstract

Cattle Criollo Limonero is an invaluable resource for autochthonous genetic tropical America. The control of microbial is required in each of the points of the dairy chain. In order to evaluation the microbiological quality of fresh milk from such cattle, four consecutive samplings were conducted in a herd of 12 cows pure Criollo Limonero lactating (30-115 days) belonging to INIA- Zulia. Samples were taken directly from the udder of each milking cow. measurement standard plate count (Rep) and resazurin reduction time (Trr) were performed. According to least squares analysis significant differences ( $p \leq 0,001$ ) to REP for all periods of lactation respectively were obtained, with an average count of 36,530 CFU / ml-1 raw milk, which places cattle milk Criollo Limonero , in category a, according to the above in the current Venezuelan law. As regards the TRR, no differences ( $p \geq 0.05$ ) obtained develop a sky-blue color, continuous in a time of 4 hours resulting in a class I (very good / excellent) milk. Demonstrating that milk cattle Criollo Limonero meet microbiological quality requirements established in Venezuelan law.

**Key words:** Quality attributes, autochthonous cattle, microbiological standard.

### Introducción

La caracterización de los recursos y/o productos de una especie cualquiera, constituye el inicio hacia su protección como recurso biótico.

En Venezuela, la introducción de ganados españoles generó la formación de varios núcleos que dieron origen a germoplasmas conocidos como Criollo Amarillo de Quebrada Arriba, Criollo Llanero o Cajuno y al Criollo Limonero. El primero, desapareció al ser absorbido por el Pardo Suizo para originar al Carora [1], y el segundo prácticamente desapareció absorbido por el Brahman y otros genotipos del

*Bos indicus*. Sin embargo el Criollo Limonero sobrevive hasta hoy al borde de la extinción aun habiendo sido declarado oficialmente como “patrimonio nacional” [2].

Este tipo de bovino, tiene su origen en la Península Ibérica e Islas Canarias. El mismo se encuentra en Venezuela desde hace más de 500 años. A este genotipo autóctono se le atribuyen cualidades como: rusticidad, alta eficiencia reproductiva, facilidad al parto, resistencia a enfermedades, excelente pastoreador, docilidad, y facilidad de ordeño. Estas cualidades potenciales hacen que los ganados criollos representen un recurso genético invaluable para la América tropical. En Venezuela, el ganado Criollo Limonero ha sido preservado y seleccionado elementalmente hacia la producción lechera [3]; [4], siendo este rubro de relevante importancia, ya que es el principal elemento de rentabilidad tanto en rebaños de producción lechera como para los de doble propósito en el trópico [5].

La producción de leche se hace con la expresa intención de proporcionar un alimento de alto valor nutritivo para el consumo humano. Cada día se reconocen más las cualidades de este producto en la alimentación de niños, adultos y personas de la tercera edad. Pero para que la leche cumpla con esas expectativas y/o cualidades, debe reunir una serie de requisitos que definen su calidad, como su composición fisicoquímica, cualidades nutricionales y número de microorganismos presentes en ella.

En el ámbito lechero al Criollo Limonero, solo se conocen investigaciones sobre factores como, peso al nacer, época de parto, edad, periodo de la lactancia, niveles de producción lechera, sin embargo la documentación científica sobre caracterización de leche en ganado Criollo Limonero es aun escasa. En tal sentido, debido a la brecha tecnológica existente inherente a calidad de leche en bovinos autóctonos y el peligro en extinción de los mismos; surge la necesidad de caracterizar los atributos de calidad microbiológica en leche proveniente de este tipo de ganado.

## Fundamentos teóricos

El ganado Criollo Limonero registra producciones de 2.195 kg de leche por lactancia de 297 días e intervalo entre partos de 399 días [5]. El aporte que representa este patrimonio genético para la producción láctea nacional, es de suma importancia tanto para el consumo directo como para la industria láctea.

En tal sentido, algunas investigaciones han sido reportadas [6] evaluando los factores que afectan la primera lactancia en 133 vacas Criollo Limonero, donde analizaron el efecto del toro padre, peso al nacer, año y época (seca, semilluviosa, lluviosa) de parto sobre el peso, edad, duración de la lactancia y producción de leche, concluyendo que las variables año y época tuvieron un efecto significativo ( $P \leq 0,01$ ) sobre el peso y edad al parto, sobre la duración de la lactancia y la producción de leche. Al ajustar la producción de leche por otros factores que la afectan, la influencia del peso al nacer sobre la producción total de leche llegó a ser altamente significativa ( $P \leq 0,01$ ), notando una mayor producción en las vacas con peso al nacer comprendido entre 25 y 28 kg, lo que indica que este parámetro puede ser un criterio de selección en Criollo Limonero.

Por otra parte se ha estudiado la producción de leche en grupos raciales [7], evaluando los factores genéticos, fisiológicos y ambientales que afectan la producción de leche en vacas mestizas Criollo Limonero y analizaron 106 registros de lactancias pertenecientes a vacas mestizas Genotipo<sub>1</sub>: ½ Holstein x ½ Criollo Limonero y Genotipo<sub>2</sub>: ¾ Criollo Limonero x ¼ Holstein; nacidas en la Estación Local Chama del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas en estado Zulia, ubicada en el Sur del Lago de Maracaibo. Realizaron análisis estadístico por el método de cuadrados mínimos, considerando como efectos fijos: genotipo del animal, año, época y número de parto. Compararon las medias obtenidas por medio de una prueba de Duncan, siendo las medias ajustadas para la producción de leche total, en los primeros 305 días por genotipo Genotipo<sub>1</sub>: 2.754 y 2.473 kg; Genotipo<sub>2</sub>: 2.663 y 2.560 kg, sin obtener diferencias significativas entre genotipos. El año de parto afectó ( $P \leq 0,05$ ) la producción de leche total en los primeros 305 días, considerando satisfactoria la producción de leche de las vacas Criollo Limonero x Holstein en condiciones de trópico húmedo.

En el mismo ámbito se han reportado investigaciones [8] inherentes a calidad de leche en ganado Criollo Limonero, donde evaluaron el efecto de la suplementación con harina de frutos de samán (*Pithecellobium saman* (Jacq.) Benth) sobre la producción y calidad de la leche de vacas Criollo Limonero, llevando a cabo un experimento en la Estación Local Carrasquero. Utilizaron 20 vacas lactantes Criollo Limonero agrupadas en dos grupos homogéneos a los cuales aplicaron un diseño experimental simple con dos tratamientos, dos periodos de muestreo de 21 días y 7 días de adaptación a los suplementos. Los tratamientos consistieron en la suplementación al momento del ordeño con alimento concentrado y una mezcla de 90% de harina de frutos de samán y 10% de melaza de caña de azúcar. Las variables medidas diariamente para calidad de leche fueron: sólidos totales, sólidos no grasos, acidez titulable, proteína cruda, proteína sérica, lactosa, grasa, caseína, cenizas, punto crioscopico y densidad relativa. Los autores no detectaron efecto significativo de la alimentación con frutos de harina de samán sobre la calidad de la leche.

Sin embargo pocas han sido las investigaciones con aplicaciones al ámbito industrial [5], donde se caracterizaron el gen de k-caseína (k-CN) y beta-lactoglobulina (BLG) y determinaron la asociación entre estos sobre la producción y composición de la leche en la raza Criollo Limonero, utilizaron la técnica de reacción en cadena de polimerasa (PCR) y la detección de polimorfismo en la longitud de fragmentos restringidos en 50 vacas en producción de la Estación Local Carrasquero (INIA-Zulia), determinando los genotipos a través de electroforesis en geles de agarosa donde las frecuencias obtenidas del locus de la k-CN fueron A (0,41) y B (0,59) y las frecuencias genotípicas fueron AA (0,10), AB (0,62) y BB (0,28), mientras que para la BLG, las frecuencias que observaron fueron A (0,21) y B (0,79) con frecuencias genotípicas de AA (0,06), AB (0,30) y BB (0,64). Estos resultados mostraron que la frecuencia del alelo B fue mayor que la de A en ambos casos; con respecto a los halotipos de k-CN y BLG se encontró efecto de los mismos ( $P \leq 0,05$ ) sobre el porcentaje de sólidos totales (%ST), proteína total (PT), grasa (%GS), caseína (%CN) y producción total de leche (Ptotal kg/L) determinando que una selección a favor de los halotipos AAAB, AABB o BBAA es la más apropiada para aumentar el porcentaje de ST, GS y PTotal en la población de Criollo Limonero, mejorando de esta manera la calidad de la leche y permitiendo su utilización en la industria quesera.

Sin embargo existe la necesidad de evaluar la calidad microbiológica en leche cruda proveniente de este tipo de bovino y sus mestizos

## Parte experimental

**Ubicación geográfica experimental:** la fase experimental de esta investigación se realizó en la Estación Local “Carrasquero” ubicada al norte del estado Zulia, municipio Mara (N10°58'13; W72°07'22), perteneciente a la zona de vida de bosque seco tropical con precipitaciones oscilantes entre 500-600mm/año [9] temperatura media anual de 27,4°C, valores máximos de 35,2°C y mínimos 19,7°C, humedad relativa de 77,3% [10] perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas del estado Zulia (INIA-Zulia).

**Descripción del material experimental:** Las muestras de leche fresca fueron provenientes de un rebaño de ganado Criollo Limonero (CL) puro compuesto de 12 vacas lactantes seleccionadas de acuerdo al número de partos (1 - 5 partos); y días de lactancia (30 - 115 días) mantenidas a pastoreo de pasto guinea (*Panicum maximum*. Jacq) y suplementadas con 1,0 kg de alimento concentrado comercial durante el ordeño.

Se realizaron cuatro muestreos consecutivos y compuestos correspondientes a ambos ordeños (mañana y tarde), sin apoyo del becerro. Las muestras se tomaron directamente de cada vaca en ordeño. Se tomó un volumen total de 600 ml de leche por duplicado en erlenmeyers previamente esterilizados, para un total de 48 muestras. Las mismas fueron homogenizadas y refrigeradas hasta su posterior análisis en el laboratorio de Microbiología Agrícola de la Unidad Técnica Fitosanitaria de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia para realizar el aislamiento de mesófilos aerobios y mediciones de tiempo de reducción de resazurina (Trr) correspondientes.

**Definición de la unidad experimental:** la unidad experimental estuvo conformada por una vaca en periodo de lactancia.

**Evaluación microbiológica:** para la caracterización microbiológica se siguió la metodología descrita por [11, 12, 13], (correspondientes a: toma de muestra, preparación de muestra y criterios microbiológicos), realizando los siguientes análisis: recuento estándar en placa (Rep) o conteo de aerobios mesófilos en alimentos [14], y tiempo de reducción de resazurina (Trr) [15, 16,17].

**Recuento estándar en placa (Rep):** También conocido como recuento de aerobios mesófilos, es el análisis directo mayormente empleado para determinar la calidad microbiológica de la leche y otros alimentos. El método consistió en hacer diluciones de la muestra y sembrar en placas de petri con agar play count marca Himedia®; luego de 24 a 48 horas de incubación a 37°C, se contaron las colonias observadas las cuales permitieron obtener el número de unidades formadoras de colonias por ml de muestra (Ufc/ml) [14].

**Tiempo de reducción de resazurina (Trr):** la prueba consistió en preparar tubos de ensayo contentivos de 1 ml de resazurina marca Sigma® adicionándole posteriormente 10 ml de leche cruda, comparando al término de una hora, durante 4 horas, los cambios de color con patrones establecidos para determinar la calidad sanitaria de las muestras analizadas (Trr) [15, 16,17].

**Diseño estadístico:** el diseño estadístico empleado en la investigación, consistió en un diseño totalmente al azar con cuatro repeticiones. Se realizó un análisis de estadística descriptiva para cada muestreo y para cada vaca seleccionada, con la finalidad de obtener una comparación de medias para cada una de las variables por el método de Fisher-Kramer con un nivel de confianza de 95 %.

**Técnicas de procesamiento y análisis de datos:** Los datos generados del experimento fueron procesados mediante el uso del paquete estadístico SAS® [18].

## Resultados

**Tabla 1. Caracterización de la calidad microbiológica de leche cruda de ganado Criollo Limonero.**

Periodo de lactancia (días)	Coloración	Trr (horas)	Rep X (Ufc/ml <sup>-1</sup> leche cruda)
30 a 60	Azul-celeste	4 <sup>a</sup>	11.976 <sup>a</sup>
60 a 90	Azul-celeste	4 <sup>a</sup>	3.446 <sup>b</sup>
90 a 120	Azul-celeste	4 <sup>a</sup>	21.108 <sup>c</sup>
Total			36.530

Letras distintas en una misma columna indican diferencias ( $p \leq 0,001$ ) entre los valores medios obtenidos.

## Discusión de resultados

La vigilancia y control del estándar microbiano es necesaria en cada uno de los puntos de la cadena láctea, en el ordeño, transporte y manipulación y en el almacenamiento e incluso en su procesamiento tecnológico industrial [19].

La calidad higiénica de la leche cruda resulta de especial importancia por tratarse del contenido microbiano que en ella está presente. En la Tabla 1 se resume la calidad microbiológica de leche cruda de ganado Criollo Limonero, objeto de este estudio.

Para evaluar las pruebas de calidad microbiológica realizadas en esta investigación, las vacas se agruparon de acuerdo al periodo de lactancia correspondiente. Para el recuento estándar en placa (Rep) se obtuvieron diferencias significativas ( $p \leq 0,001$ ) para todos los periodos respectivamente. Sin embargo a pesar de observar esta variabilidad entre las poblaciones bacterianas en los distintos periodos de lactancia, se infiere que las muestras analizadas al ser comparadas con los criterios establecidos en la

normativa [20]. Se ubica dentro de la **categoría A**, con un conteo promedio de 36.530 Ufc/ml<sup>-1</sup> leche cruda.

Por otra parte, la diferencia en el conteo de microorganismos mesófilos pudo deberse a la diferencia de concentración de nutrientes que favorecen el desarrollo microbiano en la leche, como es el caso de la lactosa [21, 22].

En cuanto al tiempo de reducción de resazurina (Trr), no se evidenciaron diferencias ( $p \geq 0,05$ ) ubicándose en 4 horas con una coloración azul-celeste, lo que se traduce en una leche **clase I** (muy buena/excelente) para todos los periodos.

Cabe destacar que se empleó la técnica de tiempo de reducción de resazurina en lugar de la de azul de metileno, debido a que la resazurina es más sensible a los cambios en el potencial de óxido-reducción generados por la flora microbiana presente en la leche, por lo tanto los cambios en la coloración de la solución generada son más precisos y menos susceptibles al contacto con el oxígeno ambiental, que los generados cuando se utiliza azul de metileno.

Esto es debido a que la resazurina es un compuesto químico del grupo de las oxazonas [23]. Así mismo la resazurina (azul, no fluorescente) es reducida a resorufina (rosado, altamente fluorescente), por acción de enzimas oxidoreductasas que se encuentran principalmente en la mitocondria de las células viables de los microorganismos. La resorufina es excretada al medio permitiendo el continuo monitoreo de la proliferación de microorganismos [24].

## Conclusiones

- La leche de ganado Criollo Limonero cumple con las exigencias de calidad microbiológica establecidas en la normativa venezolana COVENIN n° 903, 1993.
- De acuerdo a lo establecido en la norma COVENIN n° 903, 1993, la leche de ganado Criollo Limonero se ubica en una categoría A, conteniendo 36.530 Ufc/ml-1 leche cruda.
- De acuerdo a la técnica de óxido-reducción de tiempo de reducción de resazurina, la leche de ganado Criollo Limonero se ubica en la clase I, definida como muy buena a excelente.

## Referencias Bibliográficas

- [1] Voight A. & Bodisco V. (Ed. Cromotip), Formación de tipos raciales lecheros adaptados al trópico venezolano, Caracas, Venezuela (1991).
- [2] Bracho I., Contreras G., Pirela M. & Zambrano S. (Astro Data SA), La raza Criollo Limonero: Una realidad para la ganadería de doble propósito. En: Avances en la ganadería de doble propósito. González-Stagnaro, C.; Soto Belloso, E. (eds), Maracaibo, Venezuela. (2002)
- [3] Rodas G., Vergara J., Moreno L., Huerta N. & Pirela M., Características al sacrificio, rasgos de la canal y rendimiento carnicero de novillos Criollo Limonero sometidos a suplementación durante la fase de ceba a pastoreo, Revista Científica. FCV-LUZ., Vol XVI, No.4, (2006), 371-380.
- [4] Rodas G. A., Vergara J., Moreno L., Huerta N., Leal M. & Pirela M., Efecto de la suplementación y maduración de carnes al vacío sobre la palatabilidad del *Longissimus dorsi* de novillos Criollo Limonero cebados a pastoreo, Revista Científica. FCV-LUZ., Vol XVII, No. 3, (2007), 280-287.
- [5] Rojas I., Aranguren M.J., Portillo M., Villasmil Y., Valbuena E., Rincón X., Contreras G. & Yañez L., Polimorfismo genético de la kappa-caseína en ganado Criollo Limonero. Revista Científica. FCV-LUZ., Vol XIX, No.6, (2011), 645-649.
- [6] Labbe, S., Abreu, O. & Perozo, N., Factores que afectan la primera lactancia de vacas criollas limoneras, Zootec. Tropical. Vol (1-2), (1983), 41-53.

- [7] Contreras, G., Zambrano, S., Pírela, M., Abreu, O. & Cañas, H., Factores que afectan la producción de leche en vacas mestizas Criollo Limonero x Holstein, *Revista Científica. FCV-LUZ*, Vol XII, No.1, (2002), 15-18.
- [8] Pírela, M., Perozo, M., Montero., Contreras, G., Valbuena, E. & Zambrano, S., Producción y calidad de la leche de vacas criollo limonero suplementadas con harina de frutos de samán (*Pithecellobium samán* (Jacq.) Benth), *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, Vol (27), (2010), 607-625.
- [9] Villasmil, Y., Bravo, R., Yañez, L., Contreras, G., Jordana, J. & Aranguren, J., Diversidad genética de la raza Criollo Limonero utilizando marcadores de ADN microsátélites. *Revista Científica . FCV-LUZ.*, Vol XVIII, No.4, (2008), 415-423.
- [10] Contreras, G., Chirinos, Z., Zambrano, Z., Molero, E. & Páez, A., Caracterización morfológica e índices zoométricos de vacas Criollo Limonero de Venezuela, *Rev. Fac. Agron La Universidad del Zulia.*, Vol 28, (2011), 91-103.
- [11] Comisión venezolana de normas industriales. COVENIN N° 409, Alimentos. Principios generales para el establecimiento de criterios microbiológicos, 1<sup>era</sup> revisión, (1998), 6 p.
- [12] Comisión venezolana de normas industriales. COVENIN N° 938, Leche y productos lácteos. Método para la toma de muestras. (1983), 22 p.
- [13] Comisión venezolana de normas industriales. COVENIN N° 1126, Alimentos, Identificación y preparación de muestras para el análisis microbiológico. 1<sup>era</sup> revisión, (1989), 11 p.
- [14] Comisión venezolana de normas industriales. COVENIN N° 902, Alimentos. Método para recuento de colonias de bacterias aerobias en placas de Petri, 2<sup>da</sup> revisión. (1987), 8 p.
- [15] Clavijo, M, La calidad de la leche en Venezuela. Interpretación de los análisis para su control. Trabajo de ascenso. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela, (1997), 93 p.
- [16] Vizcarrondo, C. & Martin, E., Leche y derivados lácteos. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Farmacia. Unidad de Ciencia de los Alimentos. Caracas, Venezuela, (1999), pp. 287.
- [17] Guía práctica. Cátedra Ciencia y tecnología de la leche. Introducción al control de calidad de la leche cruda. FCV-LUZ. (2003), 24 p.
- [18] S.A.S, Institute, INC., Statistical Analysis System, version 6.12. The Institute INC, Cary, NC, USA. (2003)
- [19] Zambrano, J. & Grass, J., Valoración de la calidad higiénica de la leche cruda en la asociación de productores de leche de sotara-asproleso, mediante pruebas indirectas de resazurina y azul de metileno, *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias.*, Vol 6, No. 2 (2008), pg. 57-66.
- [20] Comisión venezolana de normas industriales., COVENIN N° 903. Leche cruda. (1993), 10 p.
- [21] Carrillo, B., Moreira, V. & González, J., Evaluación del recuento total de bacterias en leche de centros de acopio, *Agro sur.*, Vol 37, No. 3, (2010), 200-208.
- [22] Manfrin, K., Andreani, D. & Rodríguez, D., Calidad microbiológica natural de la leche durante el proceso de ordeño y después de refrigerarse, *Revista CES Medicina, Veterinaria y Zootecnia.*, Vol 7, No. 1, (2012), 11-21.

[23] Shekhar, C., Motina, E. & Kumar, S., Microbiological quality of raw milk and its public health significance. *J. Dairying, Foods & H.S.*, Vol 29, No. 1, (2010), 15-18.

[24] Escobar, L., Rivera, A. & Aristizabal, F., Estudio comparativo de los métodos de resazurina y mtt en estudios de citotoxicidad en líneas celulares tumorales humanas, *Revista de la Facultad de Química Farmaceutica.*, Vol 17, No. 1, (2010), 67-74.



# Transiciones de fase en un sistema alquilcarboxilato de imidazolio/querosén/agua

**Belgica Bravo, Maira Jiménez, Gerson Chávez, Nelson Márquez, Nacarid Delgado, Milangel Luzardo, Iran Parra, Mariana Collins y Ana Cáceres**

Laboratorio de Petroquímica y Surfactantes, Facultad de Ciencias, Universidad del Zulia.  
Maracaibo-Venezuela.

Laboratorio de Desarrollo de Métodos de Análisis, Facultad de Ciencias, Universidad del Zulia.  
Maracaibo-Venezuela.

Laboratorio de Instrumentación Analítica, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia.  
Maracaibo-Venezuela.

**Correo electrónico:** belgicabravo@gmail.com

**Recibido:** 11/04/2018

**Aceptado:** 04-02-2019

## Resumen

En este trabajo se determinaron las transiciones de fase de surfactantes de contraíón orgánico de tipo alquilcarboxilato de imidazolio (IMIC<sub>n</sub>) en sistemas querosén/agua para su posible aplicación en la industria petrolera. Para IMIC<sub>12</sub> se encontró transiciones de tipo WI→WIII→WII y un incremento de la zona WIII con el aumento de la concentración de este surfactante. El estudio de transiciones de fase a través de mapas de formulación estuvo en concordancia con los cambios observados en las medidas de conductividad y tamaño de gota de las emulsiones formadas. Se pudo notar la relación existente entre las variables fisicoquímicas empleadas NaCl/BuOH necesarias para promover las transiciones de fase encontradas. Se trabajó con 0,3% m/v como concentración en común para las tres colas estudiadas, observando una disminución de las variables fisicoquímicas empleadas con el aumento de la lipofilicidad del surfactante de contraíón orgánico. Los mapas de conductividad permitieron determinar el cambio del tipo de emulsión de O/W a W/O, para todos los casos.

**Palabras clave:** Ácidos carboxílicos grasos; surfactante de par iónico; transiciones de fase; variables fisicoquímicas

## Phase transitions in imidazolium alkylcarboxylate/kerosene/water system

### Abstract

The phase transitions of imidazolium alkylcarboxylates (IMIC<sub>n</sub>) on kerosene/water systems for possible application in the oil industry were determined. Transitions of type WI→WIII→WII were found. Expansion of the phase zone with increasing concentration of imidazolium dodecanoate was observed. Results show that is necessary a relationship between physicochemical variables used NaCl/BuOH to promote the phase transitions. A decrease physicochemical variable used with increasing lipophilicity of the organic counterion surfactant using same concentration (0.3% m/v) was observed. Through the conductivity maps for these systems was possible to determine the change in the type of emulsion O/W to W/O, for all cases.

**Key words:** Carboxylic fatty acids, ion-pair surfactant, phase transitions, physicochemical variables.

### Introducción

Los surfactantes de contraíón orgánico son sustancias anfílicas que se encuentran formadas en su mayoría por un surfactante aniónico de tipo carboxilato unido a una parte orgánica; tienen como función modificar la tensión superficial de un sistema agua/aire, un ejemplo de esto es la transferencia de protones del ácido a la amina [1-4]. La presencia de un contraíón orgánico reduce la concentración micelar crítica (CMC) en comparación a los contraíones inorgánicos hidrófilos [5-7]. Para determinar

las transiciones de fase es necesario emplear el modelo hipotético propuesto por Winsor [8, 9] que relaciona las interacciones del surfactante con las diferentes fases del sistema. Al ir modificando las variables de formulación, concentración de surfactante, sal, alcohol, temperatura, es posible alterar el balance hidrofílico-lipofílico del sistema y observar el comportamiento de estas moléculas anfifílicas en sistemas surfactante/agua/aceite. Si las interacciones entre el surfactante y la fase acuosa superan las interacciones entre el surfactante y la fase orgánica el surfactante tiene un comportamiento hidrofílico, es decir, WI. Si las interacciones entre el surfactante y la fase aceite superan las interacciones entre el surfactante y la fase acuosa el surfactante tiene un comportamiento lipofílico, porque tiende a solubilizarse en la fase aceite, WII. Por otro lado, Si las tendencias hidrofílicas y lipofílicas se equilibran se obtiene el caso Winsor III, el cual se caracteriza por la formación de una microemulsión que generalmente solubiliza la misma cantidad de agua y aceite

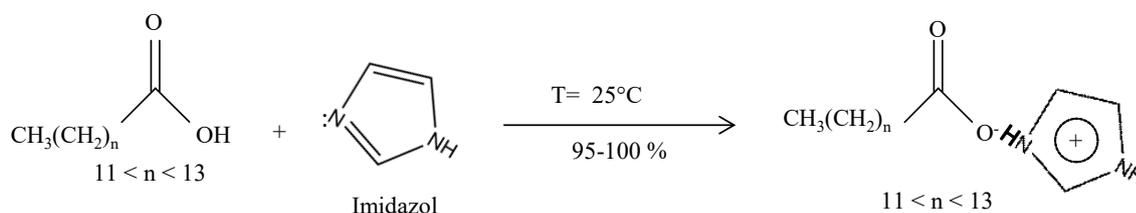
Por lo anteriormente expuesto, se determinaron las transiciones de fase en un sistema alquilcarboxilato de imidazolio/querosén/agua, evaluando el efecto de las variables de formulación tales como: concentración de surfactante, sal (NaCl) y *n*-butanol como co-surfactante, realizando barridos unidimensionales de formulación fisicoquímica, así como también algunas propiedades de las emulsiones formadas, como conductividad y tamaño de gota.

## Metodología

### 1. Preparación de los surfactantes alquilcarboxilatos de imidazolio

Para la preparación de los compuestos alquilcarboxilatos de imidazolio, se utilizaron los ácidos dodecanoico (C12), tetradecanoico (C14) y hexadecanoico (C16) (Merck, 99%), imidazol (Himedia, 99%) como contraión y hexano (Burdick & Jackson, HPLC) como medio de reacción. Para los barridos de formulación, se empleó como fase orgánica querosén de tipo comercial (Fluka, 98,8%), y agua desilada como fase acuosa. Como variables de formulación, se empleó cloruro de sodio (Merck, 99,5%), y *n*-butanol (Scharlau, 99,7%) como co-surfactante.

La obtención de los alquilcarboxilatos de imidazolio se llevó a cabo en proporción equimolar (Esquema 1). 20 mmoles del ácido carboxílico (C12, C14, C16) se disolvieron en 50 ml de hexano, luego se añadió el equivalente de 20 mmoles de imidazol. Esta reacción se mantuvo en agitación constante durante 4 horas a 25°C. El producto obtenido se conservó a bajas temperaturas (0-4°C) para la completa formación de un precipitado blanco. Posteriormente, se filtró al vacío realizando un lavado con hexano frío para eliminar los residuos remanentes.



Esquema 1. Preparación de surfactantes alquilcarboxilatos de imidazolio

### 2. Barrido de formulación fisicoquímica de los alquilcarboxilatos de imidazolio

Se realizaron barridos unidimensionales para evaluar el efecto de las variables propuestas (concentración del surfactante, concentración de electrolito, concentración de co-surfactante)

Para el estudio del efecto de la concentración de surfactante se utilizó  $\text{ImiC}_{12}$  a concentraciones de 0,1% m/v, 0,3 % m/v y 0,5% m/v. Los sistemas se prepararon en el siguiente orden: En cada tubo de ensayo se pesó una masa de 0,001; 0,003 y 0,005 g del  $\text{ImiC}_{12}$ , luego se solubilizaron en 5ml de fase orgánica (querosén) utilizando el baño ultrasonido, asimismo se adicionaron volúmenes de solución

madre al 10 % m/v de NaCl a fin de evaluar la concentración de sal en el intervalo de (0 a 8 % m/v) completando la fase acuosa con agua y manteniendo la relación aceite/agua igual a 1. Seguidamente, se adicionaron a los sistemas un volumen de *n*-butanol para evaluar el efecto de alcohol en el intervalo de concentraciones de (0,5 a 5% v/v *n*-butanol), los sistemas se agitaron manualmente cada dos horas por 12 horas y se dejaron estabilizar por 48 horas en un baño termostatzado a 25 °C. De la misma manera, se prepararon utilizando la concentración de 0,3% m/v tanto de ImiC<sub>14</sub> como de ImiC<sub>16</sub> para evaluar el efecto de la cola lipofílica del anfífilo. El comportamiento de fase se evaluó mediante el modelo Winsor construyendo mapas de formulación (% v/v *n*-butanol en función de % m/v NaCl) para observar la transición de fase (Winsor tipo I, II, III) en los sistemas preparados. Para esto se contó con la ayuda de una luz láser y en base a la difusión del haz de luz se corroboró la ubicación del anfífilo en el sistema (fase acuosa u orgánica)

### 3. Medidas de conductividad de las emulsiones

Para evaluar la inversión de las emulsiones formadas bajo las condiciones trabajadas para los barridos de formulación, se realizaron medidas de conductividad. Luego de la estabilización, estos sistemas se agitaron a una velocidad de 10.000 rpm por 20 segundos utilizando un homogeneizador e inmediatamente se midió la conductividad de las emulsiones respectivas. Con los valores obtenidos se construyeron mapas de (% v/v *n*-butanol en función de % m/v NaCl) en donde se indica bajo qué condiciones de formulación se modifica la emulsión.

### 3. Medidas de tamaño de gota de las emulsiones

Luego de agitar los sistemas a una velocidad de 10.000 rpm por 20 segundos utilizando un homogeneizador, se tomaron alícuotas de 10 $\mu$ L y se aforó con agua destilada en un balón de 10 mL agitando suavemente. Estas dispersiones, se midieron por duplicado en el espectro UV-Visible (Agilent Technologies, modelo 8453 con arreglos de diodos), en el rango de longitudes de ondas de 190-1100 nm, tomando el intervalo espectral de 350 a 800 nm para la estimación del tamaño de gota. Los valores de diámetro promedio a 400 nm se graficaron en función de la concentración de sal (NaCl) y alcohol (*n*-butanol) a fin de relacionar la variación del tamaño de gota de las emulsiones con la formulación fisicoquímica.

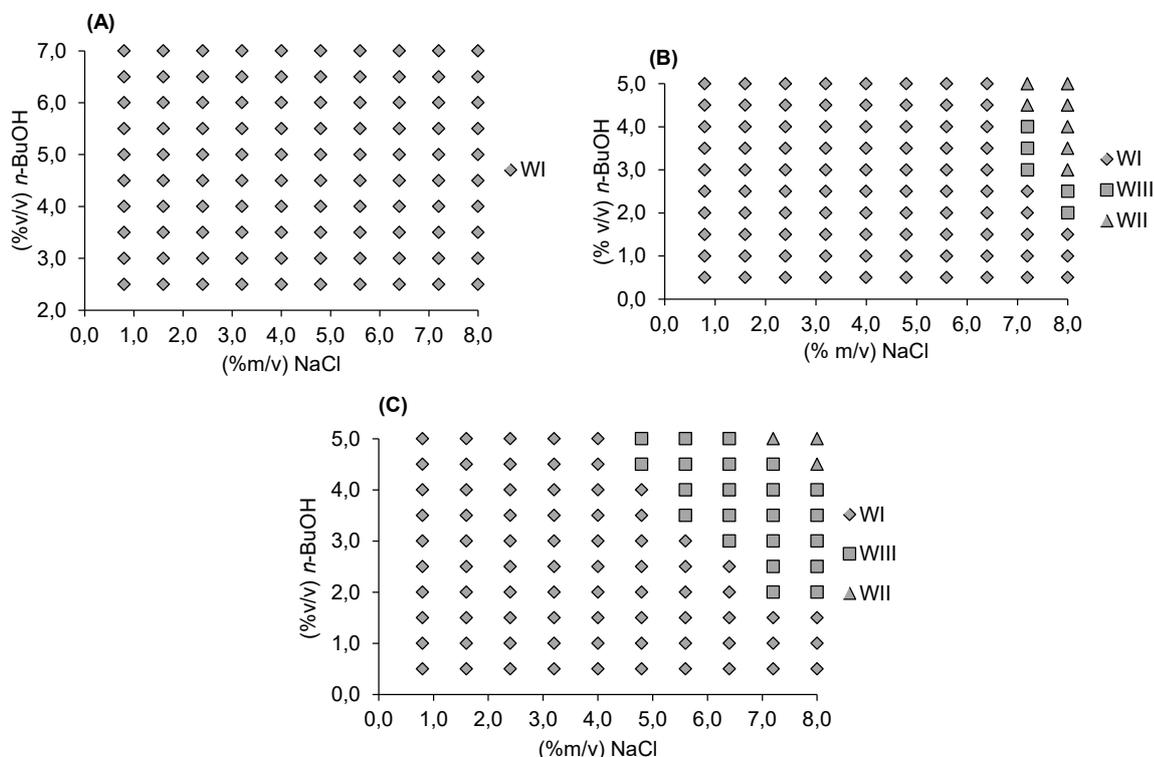
## Resultados y Discusión

La presencia de variables como: concentración de surfactante, salinidad en la fase acuosa y alcoholes en sistemas surfactantes/aceite/agua originan un cambio de afinidad del surfactante por modificación de su ambiente fisicoquímico [10-12], otorgándole un comportamiento de fase a estos sistemas. Por lo que en este trabajo se evaluó el efecto de las variables en función del cambio de transición a través del modelo de Winsor a fin de encontrar la caracterización fisicoquímica para estos nuevos sistemas con surfactantes de contraíón orgánico.

En el mapa (A) de la **Figura 1** correspondiente a la concentración de 0,1% m/v de dodecanoato de imidazolío (IMIC<sub>12</sub>) se puede notar que todos los sistemas preparados a las diferentes concentraciones de sal y alcohol son WI. Con el aumento de la concentración del anfífilo, fue posible obtener transición de tipo WI-WIII-WII. En el mapa (B) donde la concentración de IMIC<sub>12</sub> es 0,3% m/v, la transición comienza a partir de 7,2% m/v de NaCl y 3% v/v de *n*-BuOH, en este punto se obtienen sistemas de tipo WIII con volumen de microemulsión muy bajo y traslucidos. Con 8% m/v de NaCl más 2 y 2,5 % v/v de *n*-BuOH se obtuvieron de igual forma sistemas trifásicos de poco volumen de microemulsión. El resto de los sistemas con mayor concentración de *n*-BuOH son WII.

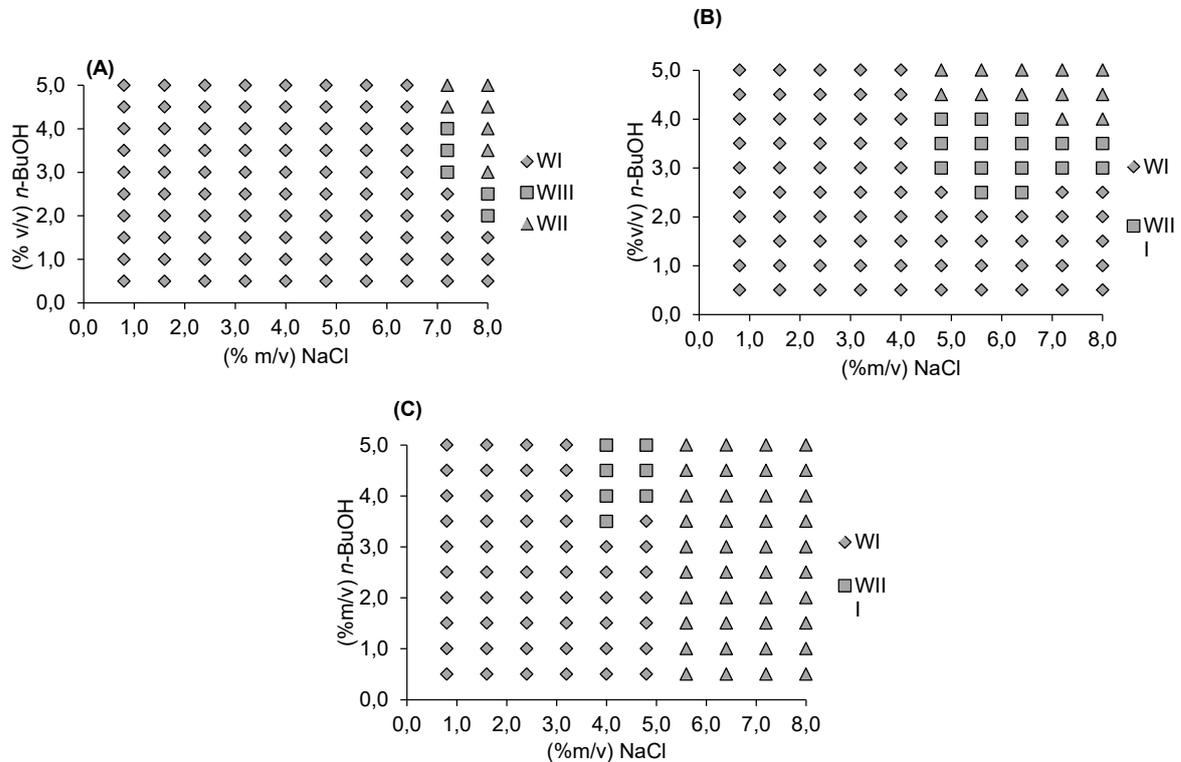
Asimismo, en el mapa (C) la concentración de IMIC<sub>12</sub> es de 0,5% m/v y la transición tiene lugar a partir de 4,8% m/v de NaCl y 4,5%v/v de *n*-BuOH. A esta concentración de anfífilo se obtuvo mayor cantidad de sistemas trifásicos que, de la misma manera tenían pequeños volúmenes de microemulsión. No obstante, dichas microemulsiones se podían destacar más que las anteriores por su ligero color azulado. Como se observó, la transición se cerró a medida que se aumentó tanto la concentración de sal como la de alcohol, es decir, el sistemas WII se obtuvo con 8% m/v de NaCl más 4,5 y 5% v/v de

*n*-BuOH. Como puede notarse, es preciso el uso de sal y alcohol para alcanzar las transiciones de fase, efecto que puede deberse a una posible sinergia entre ambas variables para la obtención de sistemas trifásicos [13-15].



**Figura 1.** Mapas de formulación de los sistemas IMIC<sub>12</sub>/querosén/agua/NaCl/*n*-BuOH a diferentes concentraciones de IMIC<sub>12</sub> (A) 0,1% m/v, (B) 0,3% m/v, (C) 0,5% m/v

A fin de evaluar el efecto de la longitud de la cadena, se realizaron sistemas con IMIC<sub>14</sub> e IMIC<sub>16</sub> también a 0,3% m/v bajo las mismas condiciones de variables de formulación, de sal (0,8-8% m/v) y alcohol (0,5-5% v/v). Los mapas que muestran la transición obtenida se observaron en la Figura 2. Se nota que, a partir de 4,8% m/v de sal y 3% v/v de *n*-BuOH comienzan a aparecer los sistemas WIII. Con 5,8% m/v y 6,4% m/v de sal, conteniendo 2,5% v/v de *n*-BuOH también, se observaron sistemas trifásicos hasta 4% v/v de dicho alcohol, mientras que el resto de los sistemas son WII. A concentraciones de 7,2% m/v y 8% m/v de NaCl más 3% v/v y 3,5% v/v de *n*-BuOH son sistemas WIII y partiendo de 4% v/v de *n*-BuOH la transición termina en sistemas bifásicos tipo WII. Cabe resaltar, que esta transición WI-WIII-WII para los sistemas con IMIC<sub>12</sub> a 0,3% m/v del mismo comienza a partir de 7,2% m/v de sal y 3% v/v de *n*-BuOH, además son pocos los sistemas trifásicos que se producen.

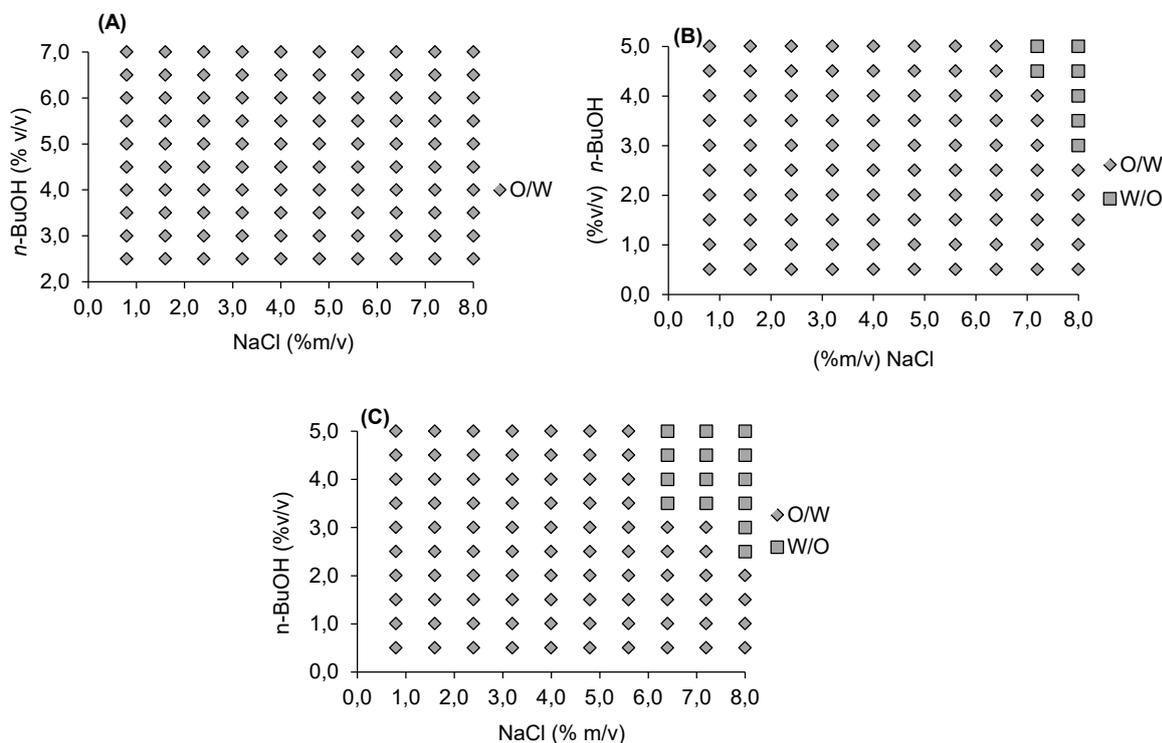


**Figura 2. Mapas de formulación de los sistemas IMIC<sub>n</sub>/querosén/agua/NaCl/n-BuOH a 0,3 %m/v (A) IMIC<sub>12</sub>, (B) IMIC<sub>14</sub>, (C) IMIC<sub>16</sub>**

Se considera entonces, que el aumento de la lipofiliidad del anfifilo IMIC<sub>14</sub> permitió la formación de agregados de forma más efectiva, y por ende es necesario una menor concentración de las variables fisicoquímicas empleadas para promover la transición de fase de los sistemas. Para el caso del IMIC<sub>16</sub> la transición WI-WIII-WII comienza con 4 %m/v de sal y 3,5 %v/v de n-BuOH. Los trifásicos se mantienen hasta la máxima concentración de alcohol utilizada en este estudio para 5 %v/v, ocurriendo lo mismo con 4,8%*m/v* de sal pero comenzando la transición con 4 %v/v de n-BuOH. Luego el resto de los sistemas preparados aumentando la concentración de sal son del tipo WII. Este comportamiento tanto inusual puede deberse al aumento de la lipofiliidad del anfifilo [13].

El tipo de emulsión presente en los sistemas estudiados se determinó a través de medidas de conductividad. En la Figura 3 se presenta el mapa de conductividad para el IMIC<sub>12</sub>. El mapa (A) representa el tipo de emulsión de los sistemas preparados con 0,1 % *m/v* de dicho anfifilo y las concentraciones de sal y alcohol que se destacan en el mapa. Los valores encontrados no pasaron de los 50 mS/cm, lo que demostró que todos los sistemas son en este caso tipo O/W. Esto concuerda con lo observado en el mapa de formulación expuesto anteriormente a esta misma concentración de anfifilo en donde todos los sistemas son WI

A medida que se aumenta la concentración de IMIC<sub>12</sub> en los sistemas, es posible observar la transición de fase y por ende un cambio en la fase externa de la emulsión formada. En el mapa (B) en donde se utiliza 0,3 % *m/v* de IMIC<sub>12</sub>, a partir de 7,2 % *m/v* de sal y 4,5 %v/v de n-BuOH se encontraron valores de conductividad en el orden de los μS/cm, al igual que los sistemas con 8 %*m/v* de sal más 3-5 % *v/v* de n-BuOH, lo que señala emulsiones W/O. El resto de los sistemas son emulsiones tipo O/W con conductividades alrededor de 25 mS/cm. Estos cambios están relacionados con el mapa de formulación obtenido visualmente bajo las mismas condiciones, en donde la transición de fase comenzó a partir de 7,2 % *m/v* de sal y 3 %v/v de n-BuOH. El mapa (C) corresponde a sistemas preparados con 0,5 % *m/v* de IMIC<sub>12</sub> y las mismas concentraciones de sal-alcohol que el caso anterior.



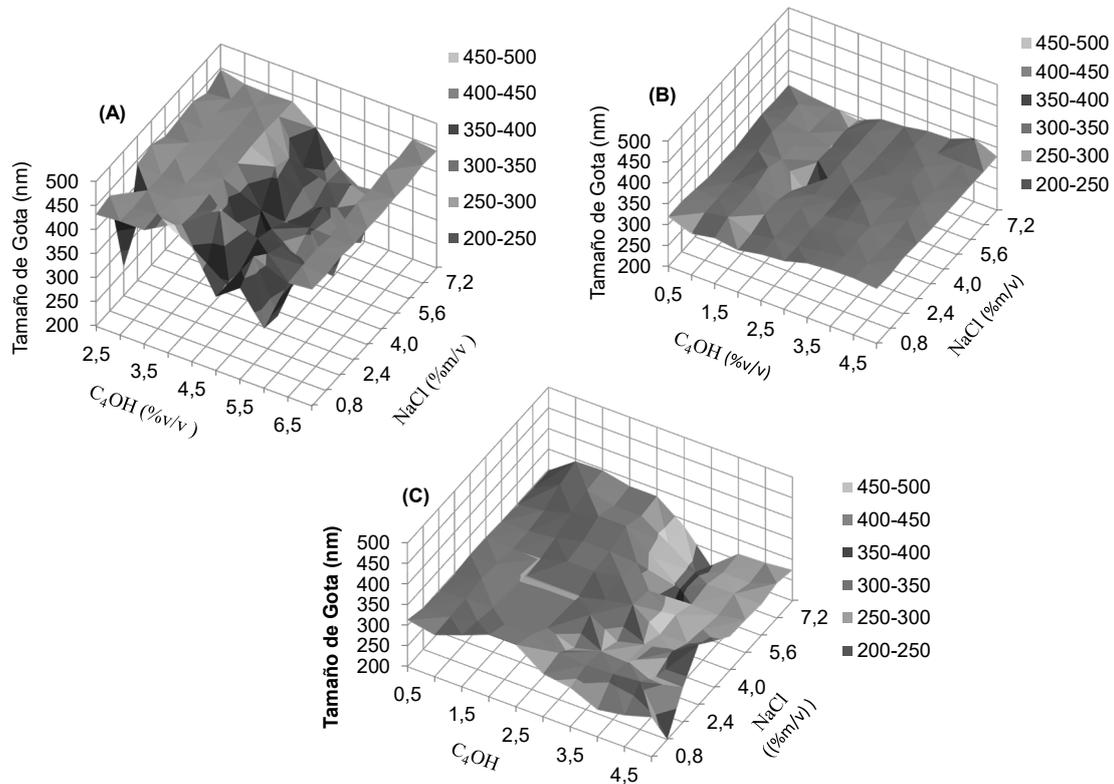
**Figura 3. Mapas de conductividad de los sistemas IMIC<sub>12</sub>/querosén/agua/sal/alcohol a diferentes concentraciones (A) 0,1% m/v, (B) 0,3% m/v, (C) 0,5% m/v**

Particularmente, se observó el cambio de emulsión a partir de 6,4 %m/v de sal y 3,5 %v/v de *n*-BuOH. En los sistemas siguientes el cambio se da bajo las mismas condiciones pero con 7,2 %m/v de sal. Con la última concentración de sal utilizada, siendo esta de 8 %m/v el cambio de emulsión se dio con 2,5 %v/v de *n*-BuOH. La conductividad para los sistemas O/W reflejados en el mapa se encontraron alrededor de 30 mS/cm. En vista de que las variables de formulación modifican la afinidad del surfactante por alguna de las fases, es precisamente esta sinergia entre la sal y el alcohol lo que promueve la inversión de la emulsión.

Por otro lado, el aumento de la concentración del anfífilo de contraíón orgánico favorece la formación de agregados, y por tanto, el sistema es capaz de solubilizar dentro de la microemulsión un volumen de cada fase (fase acuosa y orgánica). Debido a que esta nueva especie de moléculas anfífilicas posee un contraíón orgánico como el imidazol, la repulsión entre las cabezas de los grupos carboxilatos se hace mínima favoreciendo su agregación con la concentración del anfífilo, y necesitando menor concentración de electrolito y co-surfactante para promover luego la migración del anfífilo hacia la fase orgánica [16-18]. Al aumentar la longitud de la cadena es necesario un menor porcentaje de sal y alcohol, la sinergia entre ambas variables modifica el ambiente fisicoquímico del sistema promoviendo un cambio de transición de fase. Así, al aumentar el carácter lipofílico de la especie anfífilica, la preferencia por la fase orgánica es mayor, por tanto es necesaria una menor concentración de las variables antes descritas.

El tamaño de gota se puede determinar por varios métodos experimentales basados en fenómenos físicos; la espectroscopia UV-Visible suministra datos útiles de esta medida, interpretándose la información espectral mediante la teoría de Mie, la cual describe el comportamiento de partículas esféricas de tamaño arbitrario por efecto de la dispersión de luz. Realizando una grafica tridimensional del tamaño de gota en función de las variables estudiadas, en este caso NaCl y *n*-BuOH es posible la observación de la influencia que tienen dichas variables en los sistemas preparados y conjuntamente evaluar el efecto al aumentar la concentración de anfífilo y la lipofilidad. En la Figura 4 se observaron los diagramas de superficie de tamaño de gota del IMIC<sub>12</sub> a diferentes concentraciones en función de las concentraciones de NaCl y de *n*-BuOH estudiados. Se observó en primer lugar el diagrama de superficie (A) de los

sistemas realizados con 0,1%*m/v* del mismo, junto con las concentraciones sal/alcohol que se destacan. Se puede apreciar, que los valores de tamaño de gota se incrementan hasta llegar a un punto donde se genera un máximo, con un descenso posterior, este incremento revela formulaciones donde no ocurren cambios en el tamaño de gota, debido a que en éstos la transición de fase no se ha llevado a cabo, es decir, en este caso en particular sólo se obtuvieron sistemas WI.



**Figura 4.** Gráfico de superficie de tamaño de gota del sistema IMIC<sub>12</sub>/querosén/agua/sal/alcohol (A) 0,1%*m/v*, (B) 0,3%*m/v*, (C) 0,5%*m/v*

Se observó una concordancia con lo presentado a nivel de mapas de formulación y medidas de conductividad, las curvas de tamaño de gota guardan una relación similar con las variables de formulación estudiadas. En donde éstas, tanto en el mapa de formulación visual, como en el de conductividad, demostraron ser sistemas WI, es decir, emulsiones tipo O/W. Para el caso del diagrama (B) en donde la concentración de IMIC<sub>12</sub> es 0,3%*m/v* no se observaron cambios significativos en esta propiedad. Sin embargo, el tamaño de gota en este caso es menor alrededor de 350 nm en comparación con la de menor concentración, cuyo valor de tamaño de gota está entre los 450 nm. Esto puede atribuirse, a la rápida separación de los sistemas emulsionados al momento de la agitación. En la Figura 4 (C), en donde la concentración de IMIC<sub>12</sub> es de 0,5%*m/v* se observó un tamaño de gota elevado con las menores concentraciones de sal-alcohol. No obstante, al aumentar la concentración de dichas variables, se registró un descenso en el tamaño de gota. Esto se debe precisamente, al aumento de la concentración de anfífilo, lo cual concuerda con lo notado visualmente en los barridos de formulación, siendo a esta concentración en donde se obtuvo mayor cantidad de sistemas trifásicos WIII.

En el caso de los anfífilos IMIC<sub>14</sub> y IMIC<sub>16</sub> a una concentración de 0,3%*m/v* no se encontraron cambios en el tamaño de gota, a medida que varían las concentraciones de sal y alcohol, esto sugiere que una mayor lipofiliencia implica una menor influencia de dichas variables en el tamaño de gota de los sistemas preparados con esta nueva familia de anfífilos de contraíón orgánico. No obstante, al incrementarse la cadena hidrocarbonada del anfífilo se produce un empaquetamiento micelar más compacto, esto unido a concentraciones salinas que permitan una mayor cantidad de moléculas de anfífilo de contraíón orgánico en la micela, genera una rigidez adicional, por lo que si bien al aumentarse la hidro-

fobicidad se solubiliza eficientemente el aceite, se dificulta un poco más el intercambio micelar, dando como resultado que la variación de tamaño de gota alcanzado en la transición sea menor, a medida que se incrementa la cantidad de átomos de carbonos, lo cual es concordante con la relación inversa sal/alcohol expuesta a lo largo de esta investigación.

## Conclusiones

Se sintetizó una familia de tensoactivos basados en sales de alquilcarboxilatos de imidazolio (IMICn), lo cuales producen transiciones de fase de tipo WI→WIII→WII. En estas sales la naturaleza del contraión orgánico influye marcadamente en la transición de fase. Se observó que, un aumento de la concentración del anfifilo favorece la formación de mayor cantidad de sistemas trifásicos debido a una mayor formación de agregados.

Por otro lado, el uso de las variables de formulación, NaCl y *n*-butanol es indispensable para promover la transición de fase, se pudo notar que existe un efecto compensatorio entre ambas, por lo que al aumentar la concentración de NaCl es necesaria una menor concentración de *n*-butanol para el cambio de fase. El estudio de conductividad permitió observar la inversión de la emulsión bajo el efecto de las variables de formulación estudiadas.

Los sistemas con IMIC<sub>12</sub> partieron de emulsiones O/W. El tamaño de gota encontrado para estas emulsiones varía según las variables fisicoquímicas y el cambio de fase, obteniéndose emulsiones con tamaño de gotas sub-micrométricas proporcionando gran estabilidad a los sistemas. Las medidas de conductividad y tamaño de gota permitieron determinar el tipo de emulsión formada.

## Referencias Bibliográficas

- [1] Alimohammadi M., Javadian S., Gharibi, H., Tehrani-Bagha A., Mohammad R., Aggregation behavior and intermicellar interactions of cationic Gemini surfactants: Effects of alkyl chain, spacer lengths and temperature. *J. Chem. Thermodynamics* Vol. 44, No. 1, (2012), 107-115. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2011.08.007>
- [2] Asadov Z., Tantawy A., Zarbaliyeva I., Rahimov R., Synthesis of new surface-active ammonium-type complexes based on palmitic acid for removing thin petroleum films from water surface. *Egypt J. Pet.* Vol. 22, No. 2, (2013), 261-267. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2013.06.005>
- [3] Asadov Z., Rahimov R., Mammadova K., Ahmadova G., Ahmadbayova, S., Effect of organic counterions on the properties of *n*-lauryl diisopropanolamine surfactants. *J. Dispersion Sci. Technol.* Vol. 36, No. 7, (2015), 1022-1028. <https://doi.org/10.1080/01932691.2014.945125>
- [4] Caili D., Mingyong D., Yifei L., Shilu W., Jianhui Z., Ang C., Dongxu P., Mingwei Z., Aggregation behavior of long-chain piperidinium ionic liquids in ethylammonium nitrate. *Molecules.* Vol. 19, No. 2, (2014), 20157-20169. DOI: 10.3390/molecules191220157
- [5] Fameau A., Gaillard C., Marion D., Bakan B., Interfacial properties of functionalized assemblies of hydroxy-fatty acid salts isolated from fruit tomato peels. *Green Chem.* Vol. 15, No. 2, (2013), 341-346. <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2013/gc/c2gc36677k#!divAbstract>
- [6] Matsubara H., Onohara A., Imai Y., Shimamoto K., Takiue T., Aratono M., Effect of temperature and counterion on adsorption of imidazolium ionic liquids at air-water interface. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* Vol. 370, No. 1-3, (2010), 113-119. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2010.08.057>

- [7] Fameau A., Zembb T., Self-assembly of fatty acids in the presence of amines and cationic components. *Adv. Colloid Interface Sci.* Vol. 207, No. 1, (2014), 43-64. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2013.11.017>
- [8] Winsor P., Solvent properties of amphiphilic compounds. Butterworths Scientific Publ. Ltd, London, Vol. 1, (1954), 1396-1415. DOI: 10.1002/ange.19560681521
- [9] Douliez J., Gaillard C., Self-assembly of fatty acids: from foams to protocell vesicles. *New J. Chem.* Vol. 38, No. 11, (2014), 5142-5148. <http://dx.doi.org/10.1039/C4NJ00914B>
- [10] Moradi T., Sohrabi B., Najafi M., Khani V., Adsorption and micellar phase properties of anionic surfactant in the presence of electrolyte and oil at different temperatures. *Fluid Phase Equilibria.* Vol. 337, No. 1, (2013), 370-378. <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2012.10.006>
- [11] Hanno I., Centini M., Anselmi C., Bibiani C., Green Cosmetic Surfactant from Rice: Characterization and Application. *Cosmetics.* Vol. 2, No. 4, (2015), 322-341. doi:10.3390/cosmetics2040322
- [12] Rahimov R., Asadov Z., Coconut oil fatty acid ammonium-type salts. *J. Mol. Liq.* Vol. 182, No. 2, (2013), 70-75. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2013.03.013>
- [13] Wang J. and Wang H. (Eds.), Aggregation in systems of ionic liquids. In: Zhang S., Wang J., Lu X., Zhou Q. Structures and interactions of ionic liquids, structure and bonding. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. Vol. 151, No. 1, (2014), 39-77. Obtenido de: DOI 10.1007/978-3-642-38619-0\_2
- [14] Mrinmoy B., Madhab D., Pabitra N., Sharmistha G., and Tarun K., Imidazolium-based ionic liquids with different fatty acid anions: phase behavior, electronic structure and ionic conductivity investigation. *Phys. Chem. Chem. Phys.* Vol. 16, No. 30, (2014), 16255-16263. Obtenido de: 10.1039/C4CP01324G
- [15] Xiu Y., Xiaoyun F., Qintang L., Xiao C., Chuanyi W., Aggregation behaviors of alkyl ether carboxylate surfactants in water. *J. Mol. Liquids.* Vol. 227, No. 1, (2017), 161-167. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.12.010>
- [16] Vlasta T., Tea, M., Review on properties of solid cationic surfactants. Main applications and perspectives of new cationic surfactants and compounds with cationic assisted synthesis. *J. Dispersion Sci. Technol.* Vol. 38, No. 4, (2017), 515-544. Obtenido de: <https://doi.org/10.1080/01932691.2016.1180992>
- [17] Sahle F., Metz H., Wohlrab J., Neubert R., Polyglycerol fatty acid ester surfactant-based microemulsions for targeted delivery of ceramide AP into the stratum corneum: Formulation, characterization, in vitro release and penetration investigation. *Eur. J. Pharm. and Biopharm.* Vol. 82, No. 1, (2012), 139-150. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2012.05.017>
- [18] Samy S., Ismail A., Abdallah I., Surface parameters and biological activity of n-(3-(dimethyl benzyl ammonio) propyl) alkanamide chloride cationic surfactants. *J. Surfact. Deterg.* Vol. 19, No. 3, (2016), 501-510. Obtenido de: <https://doi.org/10.1007/s1174>



# **Estudio comparativo del comportamiento sismorresistente de una estructura mixta acero - concreto con aisladores elastoméricos de neopreno**

**Hely Urdaneta**

Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Urdaneta  
Maracaibo, Venezuela.

**Correo electrónico:** helyurdaneta20@gmail.com

**Recibido:** 21/07/2018

**Aceptado:** 04-02-2019

## **Resumen**

El objetivo general de esta investigación fue estudiar el comportamiento sismorresistente de edificaciones mixtas de acero - concreto para uso habitacional de 10, 12 y 14 pisos; diseñadas con el uso de aisladores elastoméricos de neopreno con el propósito de poner en consideración el estudio de nuevas tecnologías en el área de diseño sismorresistente. Se diseñaron edificios de 10, 12 y 14 pisos con el uso de aisladores elastoméricos de neopreno y sin el uso de los mismos. Los procedimientos de diseño en las mayorías de las normas sismorresistentes del mundo están orientadas a evitar el colapso de edificaciones ante sismos severos. Este es el caso de la norma venezolana COVENIN 1756-1:2001 [8], razón por la cual se hace necesario estudiar el comportamiento estructural de edificaciones con el uso de aisladores sísmicos. El diseño se hizo siguiendo las recomendaciones de la norma COVENIN 1756-1:2006 [8] y la norma NCh 2745. La investigación fue de tipo descriptiva, ya que se determinó el comportamiento ante las acciones sísmicas a través del software ETABS. Además, se manejó un diseño no experimental donde no se manipularon las variables en estudio. Los resultados obtenidos indicaron que la estructura de acero con aisladores elastoméricos de neopreno estudiada se comporta adecuadamente cumpliendo con los requisitos establecidos en la norma de diseño sísmico venezolana, demostrando el aprovechamiento y optimización de las secciones de los elementos estructurales que conforman la edificación, brindando una alternativa constructiva eficiente.

**Palabras clave:** Sismorresistente, aisladores, acero estructural, concreto.

# **Comparative study of the sismorresistent behavior of a mixed steel structure - concrete with neoprene elastomeric insulators**

## **Abstract**

The general objective of this investigation was to study the seismic behavior of mixed steel - concrete buildings for housing use of 10, 12 and 14 floors; designed with the use of elastomeric neoprene insulators with the purpose of considering the study of new technologies in the area of earthquake resistant design. Buildings of 10, 12 and 14 floors were designed with the use of elastomeric neoprene insulators and without the use of them. The design procedures in the majority of the earthquake resistant norms of the world are oriented to avoid the collapse of buildings in severe earthquakes. This is the case of the Venezuelan standard COVENIN 1756-1: 2001, which is why it is necessary to study the structural behavior of buildings with the use of seismic isolators. The design was made following the recommendations of the norm COVENIN 1756-1: 2006 and the norm NCh 2745. The investigation was of descriptive type, since the behavior before the seismic actions was determined through the software ETABS. In addition, a non-experimental design was handled where the variables under study were not manipulated. The results obtained indicated that the steel structure with studied elastomeric neoprene insulators behaves adequately complying with the requirements established in the Venezuelan seismic design standard, demonstrating the use and optimization of the sections of the structural elements that make up the building, providing a efficient constructive alternative.

**Key words:** Seismic resistance, rubber isolators, structural steel, concrete.

## Introducción

Con el pasar de los años los movimientos –telúricos o sísmicos y la incertidumbre de su aparición han representado uno de los peligros latentes más frecuentes en los continentes. Esto debido a que su llegada amenaza la estabilidad tanto de las fundaciones como de la superestructura de una edificación, pudiendo así originar su parcial o total colapso, dejando a su paso pérdidas humanas y materiales.

Es responsabilidad del ingeniero civil garantizar el objetivo de proteger vidas, y disminuir en lo posible los daños esperados en las edificaciones. Asimismo, mantener operativas las edificaciones esenciales. Para estas últimas, se realizarán estudios adicionales que aseguren su funcionalidad en caso de sismos extremos. Por esta razón, se hace imperante la necesidad de diseñar estructuras que resistan las fuerzas sísmicas, con una considerada capacidad de deformación, que inclusive, vaya más allá de su estado elástico.

Sin embargo, diseñar estructuras con elementos convencionales que sean capaces de resistir la magnitud e intensidad de un movimiento sísmico puede implicar sistemas constructivos altamente costosos o puede interferir con la estética y los requisitos arquitectónicos. Bajo este contexto, los ingenieros civiles han propiciado investigaciones orientadas a sistemas que reduzcan la amenaza sísmica con el fin de preservar la vida. Entre estos, se encuentran los sistemas de control estructural pasivos como los aisladores de la base que tienen el propósito de aislar una estructura de los movimientos del terreno, asegurando que el valor del período de vibración de la estructura se aleje del período dominante del suelo. De esta forma se reducirían considerablemente las solicitaciones sísmicas a las que la edificación estaría sometida, amortiguando y disipando la energía del sistema.

En cuanto al objetivo principal de esta investigación, estuvo centrado en Estudiar el comportamiento sismorresistente de estructuras mixtas de acero - concreto con el uso de aisladores elastoméricos de neopreno, comparándolas con los sistemas estructurales tradicionales sin el uso de los mismos. Para ello, se diseñaron mediante el programa de cálculo estructural ETABS tres (3) estructuras mixtas de acero - concreto, tres (3) estructuras de acero - concreto sin los aisladores y tres (3) estructuras de mixtas de acero - concreto de 10, 12 y 14 pisos con el uso de los mismos a partir de las cuales se obtuvieron los resultados necesarios para el estudio.

Por otra parte, es preciso señalar algunos de los trabajos de investigación llevados a cabo anteriormente sobre este tema, las cuales sirvieron de base y aportaron conocimientos necesarios para el desarrollo de dicha investigación, tales como Castillo, Urdaneta (2018). Estudio comparativo del comportamiento sismorresistente de una estructura de acero utilizando aisladores elastoméricos de neopreno. Trabajo especial de grado, Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela., que aportó información acerca de los aisladores sísmicos y sus beneficios estructurales ya que utilizando los mismos ayudaran a reducir el impacto ante un evento sísmico, lo cual permitirá utilizar la menor cantidad de materiales posibles, aminorar costos, y lo más importante, evitar pérdidas humanas.

## Metodología de la Investigación

La presente investigación fue de tipo descriptiva ya que permitió, a través del programa ETABS, describir y analizar el comportamiento sismorresistente de las estructuras de acero con el uso de aisladores determinando y comparando ciertos parámetros sísmicos. Así mismo, se manejó un diseño de tipo no experimental transeccional descriptiva, pues no se manipularon las variables de estudio y su descripción es de manera puntual en un momento único. Por otra parte, se definió como unidad de análisis como el propósito de definir el comportamiento sismorresistente de una estructura mixta de acero - concreto con aisladores sísmicos.

Así mismo, se realizó una observación de tipo documental, fundamentada en la revisión de bibliografías tales como tesis, libros, revistas científicas y normas venezolanas. Por otra parte, se utilizó el programa de cálculo ETABS como instrumento principal de recolección de datos, el cual permitió realizar el diseño de las estructuras para su posterior análisis y obtención de resultados.

### Procedimiento metodológico

Se seleccionaron edificaciones aporricadas con igual geometría en planta, considerando luces de 5,00 metros entre columnas. Se trabajaron con tres (3) estructuras mixtas de acero - concreto sin aisladores y con el uso de los mismos, las cuales presentan una variación en su número de niveles, ya que se diseñaron de 10, 12 y 14 pisos, y con una altura de entrepiso de 3,00 metros.

La determinación de las solicitaciones de cargas permanentes y variables a las que estarán sometidos los diseños estructurales fueron calculadas a partir de lo estipulado por la norma COVENIN 2002-1988 [9], considerando como carga variable un valor de 175 Kg/m<sup>2</sup> para entrepiso y 100 Kg/m<sup>2</sup> para el techo. En cuanto a las cargas permanentes, se estimaron para las edificaciones de mixtas una carga de 451,5 Kg/m<sup>2</sup> y 217,5 Kg/m<sup>2</sup> para entrepiso y techo respectivamente.

Para el cálculo de las acciones del viento, se partió de lo establecido por la norma COVENIN 2003-1989 [10], y se aplicaron las siguientes ecuaciones para determinar las acciones del viento (W), la presión dinámica (qz), el coeficiente de exposición a la presión dinámica del viento (Kz) y el factor de respuesta ante ráfagas (Gh):

$$W = qGCA \quad (1)$$

$$qz = 0,00485 Kz \alpha V^2 \quad (2)$$

$$Kz = 2.58 \left( \frac{z}{zg} \right)^{2/\beta} \quad (3)$$

$$Gh = 0.65 + 3.65\delta h \quad (4)$$

El procedimiento empleado para la determinación de las acciones sísmicas estuvo basado en la norma sísmica COVENIN 1756-2001 [8], donde se estableció una zona sísmica 3, forma espectral S3, una clasificación según uso Grupo B2 con factor de importancia igual a 1, nivel de diseño ND3, estructuras Tipo III y un factor de reducción de 4,0. Tomando en cuenta lo anterior, se efectuaron los cálculos de las ordenadas (Ad) de los espectros de diseño en función del periodo (T), empleando las siguientes ecuaciones:

$$Ta = Ct hn^{0.75} \quad (5)$$

Formula 6 no esta (6)

$$T^+ \leq T \leq T^* \quad Ad = \frac{\alpha\phi\beta Ao}{R} \quad (7)$$

$$T > T^* \quad Ad = \frac{\alpha\phi\beta Ao}{R} \left( \frac{T^*}{T} \right)^p \quad (8)$$

En cuanto a los procedimientos utilizados para el diseño de cada una de las edificaciones, fue seleccionado dependiendo del material considerado y tomando en cuenta las normas COVENIN 1618-1998 [6] y COVENIN 1753-2006 [7] respectivamente según sea el caso.

### Diseño de tres (3) estructuras mixtas de acero - concreto de 10, 12 y 14 pisos

En su diseño se utilizó concreto armado para las columnas, perfiles IPN para las vigas y correas, y losas tipo mixtas (losacero). El método de diseño aplicado fue el de factores de carga y resistencia (LRFD), usando las combinaciones establecidas por la norma COVENIN 1618-1998 [6].

Para el predimensionamiento de las columnas, se consideraron sometidas a compresión por recibir cargas axiales principalmente. Se determinó la esbeltez y el esfuerzo permisible a la compresión a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\lambda = \frac{K \times L}{r_{\min}} \quad (9)$$

$$F_c = \left( 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{\lambda}{C_c} \right)^2 \right) \frac{F_y}{F_S} \quad (10)$$

$$F_c = \frac{10475000}{\lambda^2} \quad (11)$$

$$C_c = \pi \sqrt{\frac{2E}{F_y}} \quad (12)$$

$$F_S = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left( \frac{\lambda}{C_c} \right) - \frac{1}{8} \left( \frac{\lambda}{C_c} \right)^3 \quad (13)$$

Luego se realizó el predimensionamiento de los elementos sometidos a flexión por medio de ecuaciones correspondientes a los esfuerzos permisibles a la sección y al corte, así como se verificó los esfuerzos admisibles y los esfuerzos de corte. Además, se chequeo que sean compactas y que las secciones estuvieran eficientemente arriostradas lateralmente. Una vez predimensionados los elementos mencionados anteriormente, se recopilaron los datos calculados para introducirlos en el programa para realizar el modelo de las estructuras mediante el uso de la herramienta de cálculo ETABS 2015 para la determinación de las secciones finales.

### **Diseño de tres (3) estructuras mixtas de acero - concreto de 10, 12 y 14 pisos con el uso de aisladores elastoméricos de neopreno**

Se utilizó el mismo procedimiento de predimensionamiento que en el punto anterior pero se cambiarían la condición de base y se calcularía los aisladores elastoméricos de la siguiente forma:

Para el caso de investigación se estableció un aislador por columna siendo la cantidad final de aisladores 16, el peso sísmico de la estructura sobre el sistema de aislación, el periodo objetivo y las cargas máximas y mínimas que actuarán sobre el aislador; además se establecen a priori los siguientes datos iniciales:

#### Consideraciones iniciales

Deformación de corte directa máxima,  $\gamma_s$ : 150%

Deformación de corte máxima admisible,  $\gamma_{\max}$ : 250%

Sección anular, con un diámetro inicial de 10 cm ( $D_i = 10$  cm).

Amortiguamiento efectivo del sistema,  $\beta = 12\%$

Conexión fija o de pernos.

La tensión de admisible de compresión,  $\sigma_{ac} = 90$  km/

Se fija el número de aisladores "N"

El peso sísmico de la estructura "W"

El periodo objetivo 2.5 s

Carga máxima dada por la combinación 1.2CP+1.6CV+S

Carga mínima que será la carga de servicio

### **Procedimiento de diseño**

#### Cálculo de los desplazamientos de diseño y máximo

Se calcula a partir de los factores de zona sísmica (Z3), tipo de suelo (S3), el factor de amortiguamiento efectivo, con las ecuaciones 14, 15, 16 y 17.

$$DD = \frac{CD}{BD}$$

$$DM = \frac{CM}{BM}$$

$$DTD = 1,1 * DD$$

$$DTM = 1,1 * DM$$

#### Cálculo de las propiedades físicas y mecánicas del aislador

Este proceso se hizo con el uso del grupo de ecuaciones comprendidas entre la ecuación 18 a la 49:

$$KH_{total} = \frac{4 * \pi^2 * W}{TD^2 * g}$$

$$KH = \frac{KH_{total}}{N}$$

$$A = \frac{P_{máx}}{\sigma AC}$$

$$Hr = \frac{DD}{\gamma s}$$

$$G = \frac{KH * Hr}{A}$$

$$S = \frac{\text{Área cargada}}{\text{Área libre de hinchamiento}}$$

$$S = \frac{D}{4 * tr}$$

$$n = \frac{Hr}{tr}$$

$$\sigma_s = 1.5 * \frac{I_y}{I_s} * \sigma_{AC}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 0.75 * \sigma_y$$

$$\sigma_s \leq \sigma_{m\acute{a}x}$$

$$h = H + (n - 1) * t_s$$

$$H = h + 2t_{ex}$$

$$K_v = \frac{E_c * A}{Hr}$$

$$\frac{1}{E_c} = \left( \frac{1}{6GS^2} + \frac{4}{3K} \right)$$

$$f_v = \sqrt{6S}fh$$

$$T = \sqrt{\frac{4 * \pi^2 * W}{g * Kh * N}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \gamma_s + \gamma_c + \gamma_b \approx \gamma_s + \gamma_c$$

$$\gamma_s = \frac{DM}{Hr}$$

$$\gamma_c = 6S \in c$$

$$\in c = \frac{\frac{P_{m\acute{a}x}}{A}}{E_o(1 + 2kS^2)}$$

$$\gamma_{m\acute{a}xpropuesto} = \frac{0.85 * \in b}{F.S}$$

$$\gamma_{m\acute{a}x} \leq \gamma_{m\acute{a}xpropuesto}$$

$$P_{crit} = \frac{P_s}{2} * \left( \sqrt{1 + 4 * \frac{PE}{PS}} - 1 \right)$$

$$P_s = (GA)_{eff} = GAs$$

$$As = A * \frac{h}{Hr}$$

$$Pe = \frac{\pi^2 * (EI)_{eff}}{h^2}$$

$$(EI)_{eff} = \frac{1}{3} * Ec * I$$

$$I = \frac{\pi}{4} * D^4$$

$$\frac{P_{crit}}{P_{m\acute{a}x}} \geq F.S \approx 2$$

$$D_{m\acute{a}x} = \frac{P_{min} \phi}{P_{min} + Kh * H}$$

$$F.S = \frac{D_{m\acute{a}x}}{DD}$$

Luego de calcular todos los parámetros ya mencionados, se escoge un aislador comercial de un catálogo que presente las condiciones más parecidas a las calculadas.

Donde teniendo los resultados de ambos métodos de configuración estructural se compararon mediante algunos parámetros sísmicos seleccionados como lo son los siguientes:

#### Corte basal

La fuerza cortante basal se determinó en cada dirección de análisis de acuerdo a la ecuación 50, para lo cual se seleccionó el mayor valor de  $\mu$  entre las ecuaciones 51 y 52:

$$V_o = \mu A_d W$$

$$\mu = 1.4 \left[ \frac{N + 9}{2N + 12} \right]$$

$$\mu = 0.80 + \frac{1}{20} \left[ \frac{T}{T^*} - 1 \right]$$

#### Período fundamental

Se calcularon los periodos fundamentales en cada dirección de análisis mediante las ecuaciones 53 y 54:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N W_i (\delta_{ei})^2}{g \sum_{i=1}^N Q_i \delta_{ei}}}$$

$$Q_i = W \frac{W_i h_i}{\sum_{j=1}^N W_j h_j}$$

### Desplazamientos laterales y derivas

El desplazamiento lateral total y la deriva se calcularon por medio de las ecuaciones 55 y 56 mencionadas anteriormente en el marco teórico:

$$\Delta_i = 0.8R\Delta_{ei}$$

$$\delta_i = \Delta_i - \Delta_{i-1}$$

Posterior a los análisis individuales de los comportamientos ante las acciones sísmicas efectuados a cada una de las edificaciones de acero, se realizó un análisis global comparativo sobre los resultados obtenidos en cada una de las variables estudiadas, lo que sirvió como base para proyectar las conclusiones necesarias y las recomendaciones pertinentes a esta investigación.

## Resultados

### Corte basal

En las Tablas 1 y 2 se presentaron los valores de los cortes basales en la dirección X y Y obtenidos para cada una de las edificaciones estudiadas, según el tipo de material y el número de pisos.

**Tabla 1. Resumen de resultados corte basal en X**

CORTE BASAL EN X			
Tipo de estructura	10 pisos	12 pisos	14 pisos
Estructura mixta de acero - concreto	110764,00 Kg	131604,39 Kg	136744,41 Kg
Estructura mixta de acero - concreto con aisladores elastoméricos de neopreno	60546,00 Kg	68198,90 Kg	82432,89 Kg

**Tabla 2. Resumen de resultados corte basal en Y**

CORTE BASAL EN Y			
Tipo de estructura	10 pisos	12 pisos	14 pisos
Estructura mixta de acero - concreto	110313,34 Kg	130933,11 Kg	137052,63 Kg
Estructura mixta de acero - concreto con aisladores elastoméricos de neopreno	60896,76 Kg	68092,39 Kg	82312,07 Kg

Con respecto a los resultados obtenidos del corte basal en las direcciones X y Y, las edificaciones convencionales tuvo un aumento considerable con respecto a las aisladas debido a que estas interactúan directamente con el suelo y con el sismo hace que los movimientos en la base sean mucho mayores debido a su forma de afrontar los movimientos telúricos.

### Periodo fundamental

Los resultados obtenidos de los periodos para las estructuras se presentaron en la Tabla 3.

**Tabla 3. Resultados periodo fundamental**

PERIODO FUNDAMENTAL			
Tipo de estructura	10 pisos	12 pisos	14 pisos
Estructura mixta de acero - concreto	1,163 seg	1,587 seg	1,855 seg
Estructura mixta de acero - concreto con aisladores elastoméricos de neopreno	2,900 seg	2,907 seg	3,000 seg

En las 6 estructuras analizadas el valor de periodo se incrementa debido a que a más altura disminuye la rigidez y por lo tanto aumentan los desplazamientos en estas.

### Deriva

En las Tablas 4 y 5 se presentaron los valores de desplazamientos laterales en las direcciones X y Y, donde se observó que los valores máximos obtenidos fueron en la estructura mixta de acero - concreto 0,909 y 0,915 y en la estructura mixta de acero - concreto con aisladores 0,447 y 0,451

**Tabla 4. Resumen de resultados deriva en X**

DERIVA EN X			
Tipo de estructura	10 pisos	12 pisos	14 pisos
Estructura mixta de acero - concreto	0,623	0,909	0,900
Estructura mixta de acero - concreto con aisladores elastoméricos de neopreno	0,321	0,403	0,447

**Tabla 5. Resumen de resultados deriva en Y**

DERIVA EN Y			
Tipo de estructura	10 pisos	12 pisos	14 pisos
Estructura mixta de acero - concreto	0,626	0,915	0,912
Estructura mixta de acero - concreto con aisladores elastoméricos de neopreno	0,326	0,408	0,451

Al analizar estos resultados se observó que para la totalidad de las estructuras estudiadas se mantiene una tendencia de que a mayor altura de las edificaciones, aumenta la deriva. Esto se debe a que mientras más alto sea una estructura, más influencia tendrá el sismo sobre éste. Es importante destacar el efecto que ejerce el sistema constructivo empleado, ya que dependiendo de las características de cada material, como ductilidad y amortiguamiento del movimiento, unos disiparán mejor la energía que otros.

### Dimensiones de los elementos

**Tabla 6. Resumen de resultados de las dimensiones de los elementos - Estructura mixta acero-concreto 10 pisos**

ELEMENTO		NIVEL	10 pisos estructura mixta de acero-concreto	10 pisos estructura mixta de acero-concreto con aisladores
COLUMNAS	CENTRALES	Nivel PB – Nivel 4	40x40	HEB 320
		Nivel 4 – Nivel 8	40x40	HEB 300
		Nivel 8 – Nivel 10	40x40	HEB 280
	BORDE	Nivel PB – Nivel 4	35x35	HEB 300
		Nivel 4 – Nivel 8	35x35	HEB 280
		Nivel 8 – Nivel 10	35x35	HEB 260
	ESQUINERAS	Nivel PB – Nivel 4	30x30	HEB 160
		Nivel 4 – Nivel 8	30x30	HEB 140
		Nivel 8 – Nivel 10	30x30	HEB 120

Tabla 6. Continuación

ELEMENTO		NIVEL	10 pisos estructura mixta de acero-concreto	10 pisos estructura mixta de acero-concreto con aisladores
VIGAS	DE CARGA	Entrepiso	IPN 280	IPN 260
		Techo	IPN 220	IPN 200
	DE AMARRE	Entrepiso	IPN 280	IPN 260
		Techo	IPN 220	IPN 200
	CORREAS	Entrepiso	IPN 200	IPN 180
		Techo	IPN 160	IPN 160
CRUCES DE SAN ANDRÉS	BORDE	-	W10X33	W10X33
LOSAS MIXTAS	Espesor = 10 cm Sofito metálico: Calibre 22 (0,70 mm) Concreto: $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ Espesor = 8 cm Sofito metálico: Calibre 22 (0,70 mm) Concreto: $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$	Entrepiso	-	-
		Techo	-	-

Tabla 7. Resumen de resultados de las dimensiones de los elementos - Estructura mixta acero-concreto 12 pisos

ELEMENTO		NIVEL	12 pisos estructura de acero	12 pisos estructura de acero con aisladores
COLUMNAS	CENTRALES	Nivel PB – Nivel 4	40x40	HEB 450
		Nivel 4 – Nivel 8	40x40	HEB 400
		Nivel 8 – Nivel 12	40x40	HEB 360
	BORDE	Nivel PB – Nivel 4	35x35	HEB 450
		Nivel 4 – Nivel 8	35x35	HEB 400
		Nivel 8 – Nivel 12	35x35	HEB 360
	ESQUINERAS	Nivel PB – Nivel 4	30x30	HEB 200
		Nivel 4 – Nivel 8	30x30	HEB 180
		Nivel 8 – Nivel 12	30x30	HEB 160
VIGAS	DE CARGA	Entrepiso	IPN 280	IPN 260
		Techo	IPN 220	IPN 200
	DE AMARRE	Entrepiso	IPN 280	IPN 260
		Techo	IPN 220	IPN 200
	CORREAS	Entrepiso	IPN 200	IPN 200
		Techo	IPN 160	IPN 160
CRUCES DE SAN ANDRÉS	BORDE	-	W10X33	W10X33

**Tabla 6. Continuación**

ELEMENTO		NIVEL	12 pisos estructura de acero	12 pisos estructura de acero con aisladores
LOSAS MIXTAS	Espesor = 10 cm Sofito metálico: Calibre 22 (0,70 mm) Concreto: f'c = 250 Kg/cm <sup>2</sup>	Entrepiso	-	-
	Espesor = 8 cm Sofito metálico: Calibre 22 (0,70 mm) Concreto: f'c = 250 Kg/cm <sup>2</sup>	Techo	-	-

**Tabla 8. Resumen de resultados de las dimensiones de los elementos - Estructura en acero 14 pisos**

ELEMENTO		NIVEL	14 pisos estructura de acero	14 pisos estructura de acero con aisladores
COLUMNAS	CENTRALES	Nivel PB – Nivel 4	40x40	HEB 550
		Nivel 4 – Nivel 8	40x40	HEB 500
		Nivel 8 – Nivel 12	40x40	HEB 450
		Nivel 12 – Nivel 14	40x40	HEB 400
	BORDE	Nivel PB – Nivel 4	35x35	HEB 550
		Nivel 4 – Nivel 8	35x35	HEB 500
		Nivel 8 – Nivel 12	35x35	HEB 450
		Nivel 12 – Nivel 14	35x35	HEB 400
	ESQUINERAS	Nivel PB – Nivel 4	30x30	HEB 220
		Nivel 4 – Nivel 8	30x30	HEB 200
		Nivel 8 – Nivel 12	30x30	HEB 180
		Nivel 12 – Nivel 14	30x30	HEB 160
VIGAS	DE CARGA	Entrepiso	IPN 280	IPN 220
		Techo	IPN 220	IPN 200
	DE AMARRE	Entrepiso	IPN 280	IPN 220
		Techo	IPN 220	IPN 200
	CORREAS	Entrepiso	IPN 200	IPN 200
		Techo	IPN 160	IPN 160
CRUCES DE SAN ANDRÉS	BORDE	-	W10X33	W10X33
LOSAS MIXTAS	Espesor = 10 cm Sofito metálico: Calibre 22 (0,70 mm) Concreto: f'c = 250 Kg/cm <sup>2</sup>	Entrepiso	-	-
	Espesor = 8 cm Sofito metálico: Calibre 22 (0,70 mm) Concreto: f'c = 250 Kg/cm <sup>2</sup>	Techo	-	-

## Conclusiones

En líneas generales, los aisladores elastoméricos de neopreno estudiados, se comportan dentro de los parámetros establecidos en las normas venezolanas de diseño sísmico para la zona sísmica 3, razón por la cual, se concluye que pueden ser utilizadas con seguridad en la zona estudiada, ya que se evidencia que el uso de los mismos hace que las secciones de la estructura mixta disminuyan, se comporten sísmicamente mucho mejor y por consiguiente la estructura sea más liviana.

## Referencias Bibliográficas

- [1] AISC 360 (2005). Specification for structural steel buildings. USA: American Institute of Steel Construction.
- [2] Arnal, E. y Epelboim S. (1985). Manual para el proyecto de estructuras de concreto armado para edificaciones. Caracas, Venezuela: Fondo Editorial del Colegio de Ingenieros de Venezuela.
- [3] Behar, D. (2008). Metodología de la Investigación. Editorial Shalom.
- [4] Cámara Chilena de Construcción, (2011). Protección sísmica de estructuras. Documento técnico No. 29.
- [5] COVENIN (803-1989). Aceros. Definiciones y clasificación. Caracas, Venezuela.
- [6] COVENIN (1618-1998). Estructuras de acero para edificaciones. Método de los estados límites. Caracas, Venezuela.
- [7] COVENIN (1753-2006). Proyecto y construcción de obras de concreto estructural. Caracas, Venezuela.
- [8] COVENIN (1756-01). Edificaciones Sismorresistentes. Caracas, Venezuela.
- [9] COVENIN (2002-88). Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones. Caracas, Venezuela.
- [10] COVENIN (2003-89). Acciones de viento sobre las construcciones. Caracas, Venezuela.
- [11] Crisafulli, F. (2012). Diseño sismorresistente de construcciones de acero. (Segunda edición). Las Condes, Santiago de Chile: Asociación Latinoamericana del Acero – Alacero.
- [12] Crisafulli, F. (2014). Diseño sismorresistentes de construcciones de acero (Cuarta edición). Las Condes, Santiago de Chile: Asociación Latinoamericana del Acero - Alacero.
- [13] De la Rosa y Bacalao (2010). Análisis comparativo entre el STAAD PRO DESING 2007 y el ETABS V. 9.0 para el diseño de edificaciones aperticadas de acero. Tesis especial de grado, Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.
- [14] Diéguez, J. y Morón, M. (2015). Análisis del comportamiento estructural de edificaciones de acero sismorresistentes de gran altura, utilizando el sistema estructural diagrid. Tesis especial de grado, Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.

# Factores que afectan la resistencia a la compresión de las probetas de concreto. Una revisión

Jesús Moreno<sup>1</sup> y Oladis Troconis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doctorado en Ingeniería Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia.  
Maracaibo Estado Zulia, Venezuela

<sup>2</sup>Centro de Estudios de Corrosión, Universidad del Zulia (LUZ).  
Maracaibo Estado Zulia, Venezuela

**Correo electrónico:** jesusalberto301mm@gmail.com y oladistr@gmail.com

**Recibido:** 23/02/2018

**Aceptado:** 04-02-2019

## Resumen

La resistencia a la compresión del concreto es el principal parámetro utilizado para medir la calidad de este material, la cual se cuantifica por medio de ensayos a probetas cilíndricas o cúbicas elaboradas al momento del vaciado, o núcleos extraídos directamente del elemento estructural ya endurecido. El objetivo de este trabajo consiste en analizar los diferentes factores que deben ser considerados al momento de interpretar los resultados de resistencia obtenidos a partir de las probetas ensayadas (núcleos, cilindros o cubos), con la finalidad de establecer factores de corrección que permitan aminorar el efecto de dichos factores. El estudio de estos factores se realizó a partir de la revisión de distintos trabajos elaborados por investigadores del área técnico-científica, donde se encontró que los núcleos extraídos del elemento son comúnmente utilizados al momento de evaluar la resistencia “in situ” del concreto, pero son las más susceptibles al efecto de factores como la operación de perforación, el tamaño de la probeta, la relación de esbeltez y las características de los agregados. Igualmente, en este trabajo se demostró que existe una diferencia entre los núcleos extraídos y las probetas normalizadas elaboradas en sitio, para lo cual los investigadores plantean factores de corrección.

**Palabras clave:** Resistencia a la compresión, núcleo, probeta normalizada, factor de corrección.

## Factors affecting the compression strength of the concrete specimens. A review

### Abstract

The compressive strength of concrete is the main parameter used to measure the quality of this material, which is quantified by testing a cylindrical or cubic specimens prepared at the time of discharge, or cores extracted directly from the hardened structural element. The objective of this work is the analysis of the various factors that must be considered when interpreting the results of resistance obtained from the specimens tested (cores, cylinders or cubes), with the purpose of establishing correction factors to allow slow the effect of such factors. The study of these factors was based on the review of various tasks performed by researchers from the technical-scientific area, where it was found that the element extracted cores are commonly used when evaluating the resistance “in situ” concrete, but are the most susceptible to the effects of factors such as the drilling operation, the size of the specimen, the slenderness ratio and characteristics of the aggregates. Also this paper showed that there is a difference between the cores extracted and standardized specimens prepared “in-situ”, for which the researchers suggest correction factors.

**Keywords:** Compressive strength, core, standard specimen, correction factor.

### Introducción

El concreto es una mezcla constituida por cemento, agregados inertes (finos y gruesos) y agua en proporciones adecuadas para obtener las resistencias prefijadas [1]. Es una mezcla heterogénea que está sujeta a numerosas variables como son: las características de sus componentes y su variabilidad, la dosificación de los materiales, el proceso de mezclado, su fabricación y proceso de curado [2,3]. Sin embargo, en la actualidad el concreto como material se utiliza ampliamente en casi todos los ámbitos de la ingeniería civil [4,5]. Ahora bien, la principal característica que se evalúa del concreto es su resis-

tencia a la compresión, la cual se determina en estado endurecido [6]. La tecnología del concreto en los últimos años ha logrado que sea más fácil alcanzar resistencias elevadas del material, superando incluso la capacidad de la máquina de ensayo [7,8,9].

El control de calidad del concreto se realiza generalmente durante la construcción, elaborando probetas estándar (cubos o cilindros) tomadas del mismo material utilizado en la construcción [2]. Sin embargo, los resultados obtenidos con estas probetas no representan la resistencia real del concreto en una estructura [10,11].

En algunos países como Estados Unidos, Corea del Sur, Francia, Canadá, Australia y otros, se emplean como probetas de ensayo los cilindros de diámetro 150 mm y altura 300 mm, mientras que en el Reino Unido, Alemania y muchos países europeos se usan cubos de 150mm [11]. En Venezuela es comúnmente usado el cilindro de 150\*300mm de acuerdo a la norma venezolana COVENIN 338:02 [12].

La resistencia a la compresión del concreto que verdaderamente importa es la que se encuentra en el sitio [13]. Sin embargo, es un objetivo muy difícil de alcanzar ya que depende internamente de una serie de factores tales como: proporciones de la mezcla, aditivos químicos, condiciones del vaciado, tamaño y ubicación del elemento estructural, curado y condiciones de exposición [14-20]. La mejor estimación de la resistencia del concreto "in situ" se puede lograr a partir de la extracción de núcleos en la estructura existente, sin embargo, el núcleo puede ser dañado durante su extracción [13].

Por otra parte, Nikbin et al. [21] establecieron que la determinación de la resistencia real del concreto en una estructura no es fácil porque es dependiente de la historia del curado y la adecuada compactación del concreto. En este sentido, una pregunta que se hacen los diseñadores es si las probetas estándar representan en realidad la resistencia "in situ" del concreto. No obstante, los datos obtenidos a partir de la extracción de núcleos deben interpretarse cuidadosamente porque pueden verse afectados por una serie de factores tales como el diámetro, relación l/d, condición de humedad de la muestra, dirección de perforación, presencia de barras de acero, tamaño de la muestra, tipo de agregado, edad de la muestra, incluso la resistencia a la compresión de diseño [22-27].

Considerando lo anterior, el objetivo de este trabajo de revisión es el de analizar los factores involucrados en la resistencia a la compresión del concreto a partir de la utilización de probetas cilíndricas elaboradas en sitio y de núcleos extraídos de diferentes tamaños, con la finalidad de realizar una mejor interpretación de los resultados mediante el uso de factores de corrección.

### **Ensayos al concreto**

En la actualidad existen varios métodos y ensayos con la cual se puede determinar la resistencia a la compresión del concreto. La presencia cada vez mayor de aplicaciones de ensayos "in situ" al concreto, requiere una comprensión más completa del comportamiento de este material cuando se realizan ensayos destructivos y no destructivos a los elementos estructurales. Las pruebas más usadas son: Prueba de esclerómetro, de ultrasonido y las determinaciones básicas de resistencia [25].

Ahora bien, es importante resaltar que la resistencia del concreto generalmente se determina mediante la evaluación de la resistencia a la compresión de cilindros tomados directamente del vaciado y curados normativamente [13]. Sin embargo, el ensayo de extracción de núcleos representa el método más importante para evaluar la resistencia del concreto "in situ" [4,22,26,28], mientras que los métodos no destructivos tales como esclerómetro y prueba de ultrasonido, no tienen el mismo nivel de confiabilidad [22]. Por otro lado, el comité ACI 214.4R-03 [29] establece que la extracción de núcleo es el ensayo más directo como método para la evaluación de la resistencia del concreto en el sitio.

### **Extracción de Núcleos**

Nikbin et al. [21] indicaron que la extracción de núcleos se hace necesaria generalmente cuando se presentan los siguientes escenarios: Se sospecha de la calidad del concreto, la resistencia real del concreto en la estructura es baja, los cilindros tomados durante el vaciado no coinciden en su resistencia, se presume que la estructura va a estar sometida a esfuerzos mayores a su diseño original.

Ahora bien, el número de ensayos destructivos que pueden ser llevados a cabo en edificios existentes siempre es limitado ya que son ensayos particularmente invasivos [22]. Por otro lado, es importante resaltar que estas pruebas son aceptadas ampliamente para la determinación “in situ” de la resistencia del concreto, sin embargo, los resultados obtenidos en dichos ensayos son a menudo mal interpretados [27].



**Figura 1. Extracción de núcleos de concreto.**

Según Moseley *et al.* [30] el método convencional para la perforación de núcleos de concreto armado utiliza segmentos con polvo de diamante de tamaño 300-600 $\mu\text{m}$ ., de 5 a 20% del volumen de la matriz metálica. La mayoría de los investigadores han empleado en sus perforaciones el método convencional de punta de diamante [13,21,28,31,32]. En la Figura 1 se observa el método convencional para la extracción de núcleos.

#### **Factores que afectan la resistencia del concreto**

Hay diversos factores que influyen en la resistencia a la compresión, para lo cual es difícil determinar si el valor obtenido es en realidad representativo del material “in situ” [22]. En tal sentido la resistencia a la compresión del cilindro se ve afectada por muchos factores, tal es el caso de su tamaño, según algunos investigadores la resistencia disminuye a medida que el tamaño de los cilindros aumenta [11,23].

Para Mirza y Claude [33] el tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso utilizado en la muestra se debe tomar en consideración mientras se selecciona el tamaño del cilindro, ya que el mismo influye en su resistencia a la compresión, debido a la cantidad de masa representativa presente en el cilindro.

Según Madandoust *et al.* [28] los parámetros que influyen en la resistencia de los núcleos de concreto son el diámetro del núcleo, la relación de esbeltez, la edad del concreto y las características del agregado. No obstante, A. Majeed [34] le da gran importancia al tamaño de la probeta, ya que la intensidad de fractura de cualquier material frágil como el concreto o el mortero se ve afectada por este factor.

**Tabla 1. Factores que influyen en la resistencia de los núcleos**

<b>Factor</b>	<b>Referencia</b>
1. Operación de perforación	[10, 22, 23, 25, 26, 27]
2. Diámetro del núcleo	[22, 23, 25, 27, 28, 34]
3. Esbeltez ( $l/d$ )	[22, 26, 27, 28]
4. Características del agregado	[24, 27, 28, 33]
5. Presencia de armadura	[22, 25, 27, 35]
6. Nivel de resistencia	[24, 25, 27]
7. Humedad del núcleo	[25, 27]
8. Posición de la muestra	[22, 27]
9. Edad del concreto	[22, 28]
10. Relación cilindro/núcleo	[27]

**Tabla 1. Continuación**

<b>Factor</b>	<b>Referencia</b>
11. Relación agregado/diámetro de probeta	[28]
12. Tipo de elemento	[22]
13. Calidad del curado	[22]
14. Consolidación	[22]

En la tabla 1 se visualizan los principales factores que influyen en la resistencia a la compresión de los núcleos de concreto según varios investigadores.

Es evidente que la operación de perforación de los núcleos y la selección de su diámetro son los principales factores que hay que tomar en consideración cuando se requiere evaluar una estructura de concreto. Sin embargo, son igual de importantes el resto de los factores, ya que afectan de alguna u otra manera los resultados que se pudieran obtener.

En el presente artículo de revisión son estudiados principalmente los siguientes factores: **Tamaño de las probetas, Operación de perforación y Características de los agregados.**

#### **Tamaño de las probetas**

Para fines de diseño estructural, la resistencia a la compresión del cilindro estándar ( $\phi 150 \times 300$ mm) es aceptada como la propiedad más básica y la más importante [11,35,36,37].

La norma ASTM C31/C31M-09 [38] permite el uso de cilindros convencionales ( $\phi 150 \times 300$ mm) o pequeños cilindros para determinar la resistencia a la compresión del concreto, la norma ACI 318-08 [39] permite el uso de pequeños cilindros, sin embargo, se deben tomar como mínimo tres probetas para la determinación de la resistencia a la compresión.

Por otro lado, los cilindros de  $\phi 100 \times 200$ mm son permitidos por la norma ASTM C39 [40] y son muy usados para concretos de alta resistencia para que no supere la capacidad de la máquina de ensayo [8,37,41]. Igualmente, los cilindros de diámetro 75mm son adecuados para las pruebas de resistencia de concretos de alta resistencia ( $>1000$ kg/cm<sup>2</sup>) [7]. Sin embargo, algunos ingenieros siguen siendo escépticos en la utilización de cilindros pequeños debido a una mayor variabilidad en los ensayos y su falta de precisión en comparación con los cilindros convencionales de  $\phi 150 \times 300$ mm [37].

Algunas normas internacionales como la australiana AS 1012.9-1986 [42] y la canadiense CSA A23.1 [43] permiten el uso de cilindros de diámetro 100mm para evaluar la resistencia a la compresión del concreto en lugar de los de 150mm.

Por otro lado, las dimensiones de los núcleos de concreto extraídos de una estructura es objeto importante de esta revisión. A excepción de las muestras de cilindro estándar, las probetas de dimensiones menores se utilizan porque son más pequeñas y ligeras, consumen menos material, reducen el costo de elaboración o extracción y se requiere una prensa de menor capacidad para su ruptura [41]. Así mismo, existen normas que especifican un diámetro mínimo de 100mm para el núcleo, siempre que el diámetro del núcleo sea por lo menos tres veces más grande que el tamaño máximo nominal del agregado grueso. Estas normas se presentaron a continuación en la Tabla 2.

La elección de núcleos de gran diámetro se justifica por la necesidad de obtener muestras con una estructura interna lo más homogénea posible, para ser totalmente representativo del concreto que está siendo examinado y para tener una mayor aproximación al tamaño de la muestra estándar [26].

**Tabla 2. Normas para la selección del tamaño mínimo del núcleo**

Ref.	Norma	Descripción
44	ASTM C 42:1990	Test for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete.
45	BS 1881: Part 120:1983	Method for determination of the compressive strength of concrete cores, British Standards.
46	JIS A1107	Method of Sampling and Testing for Compressive Strength of Drilled Cores of Concrete.
47	COVENIN 345:1980	Método para la extracción de probetas cilíndricas y viguetas de concreto endurecido.

Ahora bien, la extracción de estos núcleos se hace poco práctico, ya sea debido al pequeño tamaño del elemento estructural, a la ubicación del acero de refuerzo o a otros factores; por consiguiente, los núcleos de pequeño diámetro son usados frecuentemente [4,10,21,26,28,31].

A pesar de que la mayoría de las normas exigen que el diámetro del núcleo sea de por lo menos 100mm, algunas son más flexibles en este tema. Tal es el caso de la sociedad del concreto en Londres [48], la cual ha permitido el uso de núcleos de 50 y 75mm mediante la publicación del adendum a su informe de 1976. Igualmente, en Turquía la Norma 12504 TS [49] permite el uso de núcleos de 50mm de diámetro, pero no emplea ningún factor de corrección para relacionarlos con los núcleos de mayor diámetro.

### **Operación de perforación**

En los últimos años ha aumentado la controversia sobre la interpretación de los resultados de resistencia a la compresión de los núcleos de concreto. Según Naik [27] los principales factores que han generado esta controversia son los que se presenta a continuación: ¿A qué edad el núcleo debe ser perforado y ensayado? ¿Qué nivel de resistencia es aceptable en comparación con la resistencia especificada? ¿Qué relación existe entre la operación de perforación de los núcleos y la resistencia del cilindro estándar? ¿Cuáles son los parámetros importantes que afectan en realidad la resistencia del núcleo y cuáles son sus efectos?

Según Felicetti [50] existen factores que están directamente relacionados con la operación de perforación y que pueden influir de alguna manera en la magnitud del daño de la probeta extraída. Estos factores son: la dirección del equipo de perforación, el empuje aplicado sobre la superficie perforada y la velocidad de penetración del equipo. Por otro lado, otros investigadores [10, 26], establecen que se puede ocasionar daño a la muestra durante la perforación debido a la microfisuración (debilitamiento o ruptura de la matriz de unión del cemento y la superficie de las partículas del agregado), o a causa de la generación de grandes grietas y daños en el núcleo.

### **Características de los agregados**

Los materiales frágiles como el concreto y el mortero no solo se ven afectados por la formación de grietas, sino también por las microfisuras que dependen principalmente del tamaño del agregado grueso presente en el material [34]. En este sentido, cuando las partículas del agregado son grandes con respecto al tamaño del núcleo, se incrementará el efecto producido por la perforación o corte del concreto [50].

En el caso de cilindros, cuando el TMN del agregado aumenta con respecto al diámetro de un cilindro normalizado, la distribución del agregado grueso en la capa límite entre la pared del molde y el concreto se hace menos uniforme y por lo tanto el concreto no puede ser compactado suficientemente en estas regiones. A esto se le denomina efecto pared [51].

Por otro lado, el tipo de agregado grueso utilizado puede influir en la resistencia a la compresión de los núcleos perforados. Según Tuncan et al. [31] los núcleos extraídos de un concreto elaborado con agregado grueso natural son más susceptibles a ser dañados por la perforación debido a su superficie

lisa y redondeada que permite mayor deslizamiento del agregado, este efecto puede aumentar si aumenta el tamaño máximo del agregado.

### Estudios realizados

Una gran cantidad de investigadores han realizado trabajos experimentales con el objeto de determinar el efecto del tamaño de la probeta en la resistencia a la compresión del concreto, sin limitarse al estudio de otras variables que intervienen en dicho análisis. A continuación, se presentaron los aspectos más relevantes de dichas investigaciones.

### Materiales utilizados

En la Tabla 3 se observan las características de los materiales utilizados por los diferentes investigadores en la elaboración de las muestras.

**Tabla 3. Materiales utilizados en la mezcla de concreto por diversos investigadores**

Ref.	Tipo de probeta	Agregado grueso	Agregado fino	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Relación a/c
[2]	Cil. y Núc.	Triturada TMN=25mm	MF=3,0	300	0,48
[4]	Núcleos	TMN= 20 y 40mm	---	150 - 500	---
[5]	Cil. y Núc.	Piedra natural	---	---	0,40 a 0,65
[6]	Cilindros	Triturada TMN=20mm	MF=2,60	350	---
[7]	Cilindros	TMN= 7mm	MF=3,55	1100 - 1600	---
[8]	Cil. y cub.	Andesita TMN=12mm	---	---	0,28
[9]	Cilindros	TMN= 10mm	---	---	---
[11]	Cil., cub. y Núc.	Triturada TMN=13mm	---	200 - 800	0,28 a 0,67
[21]	Núcleos	TMN= 20mm	---	250 y 450	---
[25]	Cil. y Núc.	---	---	200 - 800	---
[26]	Cil., cub. y Núc.	Triturada TMN=20mm	---	150 - 1000	---
[27]	Núcleos	Triturada TMN=20mm	---	---	---
[28]	Núcleos	Triturada TMN=20mm	de río	200 - 450	---
[31]	Cil., cub. y Núc.	Natural y triturada TMN= 10, 15, 22 y 30mm	---	---	0,55 y 0,60
[33]	Cilindros	TMN= 9 y 19mm	---	---	---
[37]	Cilindros	Piedra de río TMN= 20mm	---	190 - 570	---
[41]	Cilindros	TMN= 5, 15 y 25mm	MF=4,38	---	0,37 a 0,77
[51]	Cil. y cub.	TMN= 12, 22 y 31,5mm	de río	370 - 750	---

MF: Modulo de finura

### Condiciones de ensayo

La velocidad de aplicación de la carga sobre las probetas fue establecida por los autores en sus investigaciones de acuerdo a las normativas vigentes establecidas [7,8,11,32,33,41,51]. Por otro lado, algunos investigadores consideraron en sus experimentos la condición de saturación con agua o no de los núcleos antes del ensayo [2,13,22,25,51].

### Análisis de la información obtenida

#### *En cuanto al tamaño de los agregados*

La diferencia entre los núcleos de diámetro 50mm y 75mm con relación l/d=2 elaborados con TMN de 10 y 30mm es de 28% en cuanto a la resistencia a los 7 días con piedra caliza triturada, mientras que con agregado natural fue de 34%. Estos porcentajes a los 90 días disminuyeron a 14 y 16% respectivamente [31].

La resistencia a la compresión de los núcleos es menor a medida que aumenta el TMN y la edad de ensayo es menor [21,28,31]. Para núcleos del mismo tamaño la incrustación del agregado grueso grande en el mortero ocasiona una reducción en la resistencia mayor que con el agregado más pequeño [51].

*En cuanto al tamaño de los núcleos*

La resistencia de los núcleos de 50mm es aproximadamente un 6% menor que los de 75mm a la edad de 90días [31]. El uso de núcleos de diámetro pequeño (50 y 75mm) no es confiable [21,31]. La resistencia de los núcleos aumenta constantemente cuando el diámetro del mismo también aumenta [5,26]. La resistencia de los núcleos de diámetro 75mm es ligeramente menor que la de los núcleos de  $\phi$ 100 y 150mm pero la diferencia no es significativa [2].

*En cuanto al tamaño de los cilindros*

La resistencia a la compresión en los cilindros disminuye a medida que aumenta el tamaño de la probeta, manteniendo en todo momento la relación l/d, [24,26]. La resistencia a la compresión de cilindros de  $\phi$ 100\*200mm es mayor a la de los cilindros de  $\phi$ 150mm\*300mm [8,41]. Los resultados de esas investigaciones se observan en la Tabla 4.

**Tabla 4. Relación de Rc100/150 de estudios realizados**

Ref.	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Relación Rc100/150
[33]	150 - 500	1,03
[41]	150 - 450	1,01 – 1,05
[52]	734 - 1121	1,05
[53]	367 - 530	0,98 – 1,06
[54]	82 - 469	0,84 – 1,32
[55]	948	1,01
[56]	235- 816	1,11
[57]	245 - 367	> 1,00
[58]	734 - 1336	1,09
[59]	490 - 816	0,93
[60]	286	1,03

*En cuanto al daño por la perforación*

La influencia del daño de perforación en los núcleos de concreto aumenta a medida que el diámetro de los mismos disminuye [5, 21, 31]. A mayor resistencia del concreto mayor es el daño en el núcleo debido a que el material ofrece mayor resistencia [21].

*En cuanto a la variación de los ensayos*

Algunos investigadores [10, 21, 26, 31, 37, 61], determinaron en sus experimentos el coeficiente de variación porcentual (COV), los cuales son resultados objeto de análisis en esta revisión. En la Tabla 5 se presentaron los resultados.

**Tabla 5. %COV de ensayos realizados**

Ref.	Tipo de Probetas ensayadas	%COV
[10]	Núc. D=28mm (microcores)	35
[21]	Núc. D=50mm	12
	Núc. D=75mm	7
[26]	Núc. D= 100mm	13
	Núc. D= 75mm	16
	Núc. D= 50mm	20
	Núc. D= 28mm	45

**Tabla 5. Continuación**

Ref.	Tipo de Probetas ensayadas	%COV
[31]	Núc. D=75mm (Ag.tritur.)	12
	Núc. D=75mm (Ag.nat.)	15
	Núc. D=50mm (Ag.tritur.)	12
	Núc. D=50mm (Ag.nat.)	17
[37]	Cil. D=150mm	5.3
	Cil. D=100mm	10.7
[61]	Núc. D= 50mm	12.5
	Núc. D= 100mm	4
	Núc. D= 150mm	5.5

## Conclusiones

La extracción de núcleos de concreto es la técnica más utilizada por profesionales e investigadores para la determinación de la resistencia del concreto de una estructura existente, siempre y cuando se tomen en consideración los factores que intervienen en la interpretación de los resultados.

Los factores más importantes que parecen afectar la resistencia a la compresión de las probetas son la operación de perforación, el diámetro del núcleo, la esbeltez ( $l/d$ ) y las características de los agregados en especial su tamaño y textura.

A pesar de que la mayoría de las normas nacionales e internacionales establecen condiciones para la selección del tamaño del núcleo a extraer, la utilización de probetas más pequeñas presenta múltiples ventajas y son las más empleadas según los investigadores citados en este trabajo. Los núcleos de menor tamaño se ven afectados significativamente por las operaciones de perforación, y dicho efecto se incrementa cuando la relación entre el tamaño del núcleo con respecto al tamaño del agregado disminuye.

El tamaño de los núcleos afecta de manera importante la variabilidad de los resultados, ya que de acuerdo a los resultados obtenidos por los investigadores a menor tamaño del núcleo mayor es el coeficiente de variación (COV).

Existe controversia entre los resultados obtenidos por los investigadores en relación al efecto del tamaño de la probeta y de los agregados en la resistencia a la compresión. Esto requiere un estudio que abarque todas estas variables para así poder determinar los factores de corrección a aplicar.

## Referencias Bibliográficas

- [1] COVENIN (337:1998), Definiciones y terminología relativas a concreto. Caracas, Venezuela.
- [2] Hincapié A. y Valencia J., Resistencia al hormigón: núcleos vs. Cilindros. Revista Universidad EAFIT, Vol. 39, No. 131, (2003), 87-95.
- [3] COVENIN (1976-2003). Concreto, Evaluación y métodos de ensayo. Caracas, Venezuela
- [4] Zacoeb A. y Ishibashi K., Point load test application for estimating compressive strength of concrete structures from small core, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 4, No. 7, (2009), 46-57.
- [5] Pul S., Husem M., Arslan M. y Zandi Y., Investigation of Relation between Core and Cylindrical Strength of Concrete Specimen Cured in Different Conditions. Recent Researches in Geography, Geology, Energy, Environment and Biomedicine, ISBN: 978-1-61804-022-0, 265-269.

- [6] Seong-Tae Y., Min-Su K., Jin-Keun K. y Jang-Ho J. K., Effect of specimen size on flexural compressive strength of reinforced concrete members. *Cement & Concrete Composites*, Vol. 29, (2007), 230–240.
- [7] Patnaik A. y Patnaikuni I. Correlation of strength of 75 mm diameter and 100 mm diameter cylinders for high strength concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, (2002), 607–613.
- [8] Del Viso J.R. Carmona J.R. y Ruiz G., Shape and size effects on the compressive strength of high-strength concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 38, (2008), 386–395.
- [9] Siddik S., Hikmet D. y Varol K., Drying Effect of Normal and High Strength Concrete Cylinders with Different Sizes. *G.U. Journal of Science*, Vol. 22, No. 4, (2009), 333-340.
- [10] Kilinc K., Celik A., Tuncan M., Tuncan A., Arslan G. y Arioz O. Statistical distributions of in situ microcore concrete strength. *Construction and Building Materials*, Vol. 26, (2012), 393–403.
- [11] Seong-Tae Y., Eun-Ik Y. y Joong-Cheol C., Effect of specimen sizes, specimen shapes, and placement directions on compressive strength of concrete. *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 236, (2006), 115–127.
- [12] COVENIN (338:2002)., *Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto*. Caracas, Venezuela.
- [13] Haque M.N. y Gopalan M.K., Estimation of in situ strength of concrete. *Cement and concrete research*, Vol. 21, (1991), 1103-1110.
- [14] Bloem D.L., *ACI Journal* Vol. 65, No. 3, (1968) 176.
- [15] Bloem D.L., *Proceedings ASTM* 65, (1965) 668.
- [16] Murphy W.E., *ACI*, SP-82 (1984), 377.
- [17] Newman K., *ACI*, SP-82 (1984), 479.
- [18] Keiller A.P., *ACI*, SP-82 (1984), 441.
- [19] Munday J.G.L. and R.K. Dhir, *ACI*, SP-82 (1984) 393.
- [20] Malhotra V.M., *ACI Journal* Vol. 74, No. 4, (1977), 163.
- [21] Nikbin I., Eslami M. y Rezvani S. M., An Experimental Comparative Survey on the Interpretation of Concrete Core Strength Results. *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X, Vol.37, No.3 (2009), 445-456.
- [22] Uva G., Porco F., Fiore A. y Mezzina M., Proposal of a methodology for assessing the reliability of in situ concrete tests and improving the estimate of the compressive strength. *Construction and Building Materials*, Vol. 38, (2013), 72–83.
- [23] Metin U., Ercan Ö. y Tuncay K., Prediction of concrete compressive strength in buildings that would be reinforced by fuzzy logic. *International Journal of the Physical Sciences*, Vol. 7, No. 29, (2012), 5193-5201.
- [24] Khaloo Ali R., Mohamad M., y Sharam A., Size Influence of Specimens and Maximum Aggregate on Dam Concrete Compressive Strength. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 21, No. 8, (2009), 349-355.

- [25] Rojas L., Fernández J., y López J., Rebound Hammer, Pulse Velocity, and Core Tests in Self-Consolidating Concrete, *ACI Materials Journal*, Vol. 109, No. 2, (2012), 235-243.
- [26] Celik A., Kilinc K, Tuncan M., y Tuncan A., Distributions of Compressive Strength Obtained from Various Diameter Cores". *ACI Materials Journal*, Vol. 109, No. 6, (2012), 597-606.
- [27] Tarun R. Naik, Variation in concrete core strength., Center for By-Products Utilization, Report No. CBU-1990-13, Department of Civil Engineering and Mechanics College of Engineering and Applied Science the University of Wisconsin – Milwaukee. (1990).
- [28] Madandoust R., Bungey J. y R. Ghavidel., Prediction of the concrete compressive strength by means of core testing using GMDH-type neural network and ANFIS models. *Computational Materials Science*, Vol. 51, (2012), 261–272.
- [29] ACI Committee (214:2003), Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results (ACI 214.4R-03). American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- [30] Moseley S.G., Bohn K.-P. y Goedickemeier M., Core drilling in reinforced concrete using polycrystalline diamond (PCD) cutters: Wear and fracture mechanisms. *Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, Vol. 27, (2009), 394–402.
- [31] Tuncan M., Arioz O., Ramyar K. y Karasu B., Assessing concrete strength by means of small diameter cores. *Construction and Building Materials*, Vol. 22, (2008), 981–988.
- [32] Kumar R. y Bhattacharjee B., Porosity, pore size distribution and in situ strength of concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, (2003), 155–164.
- [33] Mirza S. y Claude D., Compressive strength testing of high performance concrete cylinders using confined caps. *Construction and Building Materials*, Vol. 10, No. 8, (1996), 589-595.
- [34] Sura A., Effect of Specimen Size on Compressive, Modulus of Rupture and Splitting Strength of Cement Mortar, *Journal of Applied Sciences*, Vol. 11, No. 3, (2011), 584-588.
- [35] McGinnis M. y Pessiki S., Influence of steel reinforcement on in-situ stress evaluation in concrete structures by the Core-drilling method. CP820, Review of Quantitative Nondestructive Evaluation, Vol. 25, (2006), 1358-1365.
- [36] Venkateswara S., Seshagiri M. y Rathish P., Effect of Size of Aggregate and Fines on Standard And High Strength Self Compacting Concrete. *Journal of Applied Sciences Research*, Vol. 6, No.5, (2010), 433-442.
- [37] Hosein T., Hamid R., Soleymani, y J. D., Precision of Compressive Strength Testing of Concrete with Different Cylinder Specimen Sizes. *ACI Materials Journal*, Vol. 107, No. 5, (2010), 461-468.
- [38] ASTM C31/C31M:2009, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens". ASTM International, (2009), West Conshohocken, PA.
- [39] ACI Committee 318:2008, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary. American Concrete Institute, (2008), Farmington Hills, MI.
- [40] ASTM C39/C39M:2009a, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM International, (2009), West Conshohocken, PA.
- [41] Semsi Y. y Gözde I., The effect of cylindrical specimen size on the compressive strength of concrete. *Building and Environment*, Vol. 42, (2007), 2417–2420.

- [42] AS1012.9:1986, Methods of Testing Concrete, Part 9: Method for the Determination of the Compressive Strength of Concrete Specimens. Standards Association of Australia, (1986), Standard House, Australia.
- [43] CSA A23.1:1998, Concrete Materials and Methods of Concrete Construction. Canadian Standards Association, Rexdale, (1998), Ontario, Canada.
- [44] ASTM C 42:1990, Test for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete. Annual Book of ASTM Standards, (1990).
- [45] BS 1881: Part 120:1983, Method for determination of the compressive strength of concrete core. British Standards, (1983).
- [46] Japanese Industrial Standard., JIS A1107, Method of Sampling and Testing for Compressive Strength of Drilled Cores of Concrete. (1993)
- [47] COVENIN (345:1980), Método para la extracción de probetas cilíndricas y viguetas de concreto endurecido. Caracas, Venezuela.
- [48] CSTR 11, Concrete core testing for strength, Technical Report No.11. The Concrete Society, (1976), London,.
- [49] TS EN 12504-1, Testing concrete in structures-part 1: cored specimens- taking, examining and testing in compression". Turkish Standards Institute, (2002), Ankara.
- [50] Felicetti R., The drilling resistance test for the assessment of fire damaged concrete, *Cement & Concrete Composites*, Vol. 28, (2006), 321–329.
- [51] Turkel A. y Hulusi M., Size and Wall Effects on Compressive Strength of Concretes. *ACI Materials Journal*, Vol. 107, No. 4, (2010), 372-379.
- [52] Lessard M., Chaallal O. y Aïtecin PC., Testing high strength concrete compressive strength. *ACI Materials Journal*, Vol. 90, No. 4, (1993), 303–308.
- [53] Sleiman AI, Islam MS, Issa MA, Yousif AA y Issa MA., Specimen and aggregate size effect on concrete compressive strength. *Cement, Concrete and Aggregates*, Vol. 22, No. 2, (2000), 103–115.
- [54] Malhotra JM., Are 4\_8 inch concrete cylinders as good as 6\_12 inch cylinders for quality control of concrete. *ACI Materials Journal*, Vol. 73, No. 14, (1976), 333–336.
- [55] Moreno J., 225 w. wacker drive. *Concrete International. Design & Construction*, Vol. 12, No. 1, (1990), 35–39.
- [56] Carrasquillo RL., Nilson AH. y Slate FO., Properties of high strength concrete subject to short-term loads. *ACI Materials Journal*, Vol. 78, No. 3, (1981), 171–178.
- [57] Date CG., y Schnormeier R., Development and use of 4\_8 inch concrete cylinders in Arizona. *Concrete International: Design & Construction*, Vol. 3, No. 7, (1981), 42–45.
- [58] Howard LN., y Leadham DM., Production and delivery of high strength concrete. *Concrete International: Design & Construction*, Vol. 11, No. 4, (1989), 26–30.
- [59] Carrasquillo PM., y Carrasquillo RL., Evaluation of the use of current concrete practice in the production of high strength concrete. *ACI Materials Journal*, Vol. 85, No. 1, (1988), 49–54.

[60] Nasser KW. y Al-Manaseer AA., It's time for a change from 6\_12 to 3\_6 inch cylinders. *ACI Materials Journal*, Vol. 84, No. 3, (1987), 213–216.

[61] Bartlett M., Precision of in-place concrete strengths predicted using core strength correction factors obtained by weighted regression analysis. *Structural Safety*, Vol. 19, No. 4, (1997), 397-410.

# ¿Quién o que gobierna la conducción de vehículos?

**José V. Ferrer Bastidas**

Escuela de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Urdaneta.  
Profesor de Postgrado de la Universidad del Zulia.

Correo electrónico: [josevicentefb@gmail.com](mailto:josevicentefb@gmail.com)

Recibido: 26/11/2018

Aceptado: 04-02-2019

## Resumen

Los accidentes de tránsito terrestre son considerados como una epidemia según la circunstancias de cada país. Particularmente, Venezuela se encuentra ante una epidemia de este tipo, así se muestra en las estadísticas avaladas por fuentes oficiales desde mediados del siglo XX. Usualmente, lo llamativo de los titulares de los medios de comunicación suelen entenderse equivocadamente que los automóviles o las vías de tránsito terrestre son generalmente las principales causas de los accidentes. Esta impresión es dominante en toda la población sin excepciones y esto se debe a la poca rigurosidad en el planteamiento del problema. Por otro lado, es importante acotar que estas informaciones cuando se refieren a los conductores como los causantes de la problemática, éstas vacilan de las impresiones de carácter científico. En consecuencia es poco lo que pueda obtenerse en conocer las verdaderas causas del problema y por tanto avanzar a soluciones fiables. Más bien, una solución a esta problemática es considerar el respeto que se les debe a las leyes de la física, que en definitiva, es quien gobierna la conducción de vehículos.

**Palabras claves:** Leyes de la física, conducción de automóviles, seguridad vial, leyes de Newton

## Who or which governs the driving of vehicles?

### Abstract

Land-based traffic accidents can be considered as an epidemic depending on the country in question, in the case of Venezuela we would speak of an epidemic, supported by official statistics since the mid-20th century. Usually because of the striking nature of media information, it is usually understood wrongly that cars or traffic routes generally appear as the main causes of these accidents. This impression of the entire population without exceptions is due to the lack of rigor in the approach to this problem. When the information refers to drivers alike, information vacillates between impressions of a scientific nature. Consequently, there is little or nothing that can be obtained in knowing the true causes of the problem and therefore advance in reliable solutions. Definitely the solution to this problem happens through the respect to the laws of physics. That ultimately is who governs the driving vehicular-

**Key words:** Laws of physics, conductor, engineering

## Introducción

Estudiando este fenómeno, se ubica la desinformación de los conductores, autoridades y miembros de la sociedad, incluidos los gremios profesionales y la cúspide del conocimiento: Las Universidades, como receptores de la calamidad del caso.

Tal vez pocas personas conocen el interés de Albert Einstein por desentrañar las variables de los accidentes de tránsito. En efecto, Villalobos[1] escribe “Usted puede emplear el GPS porque, hace cien años, el 25 de noviembre de 1915, Albert Einstein presentó su escrito *Ecuaciones de campo de la gravitación*”, también Pedragosa[2] Investigador del CERPIE afirma “Ningún escenario es tan relativo y sometido a contrastes como la circulación y conducción de vehículos en vía pública. Einstein nos ayudó de diferentes formas a entender que su teoría de la relatividad aplica a la seguridad vial”.

Para Ferrer [3] “Es obvio que aun cuando no se perciba a primera vista, al margen del nivel de escolaridad de una persona, la influencia de las Leyes de la Física esta presente en el acontecer del diseño, construcción, desempeño del automóvil. El accidente del automóvil es uno de los que llama más la atención del público, este fenómeno puede aparecer en la vida de cualquier ser humano desde

el mismo momento del nacimiento. Un enfoque del accidente automovilístico casi da por terminado el interés de la ciencia por este evento, de hecho existe un desinterés de los fabricantes de autos por investigar la intervención del conductor como causal fundamental en la ocurrencia de los accidentes de autos, dirigiendo los esfuerzos hacia la consolidación segura del habitáculo del vehículo, la mejor manera de impedir la contaminación ambiental y la eficiencia del combustible ideal para impulsar el auto. Sin embargo aun con esta acción de la industria del automóvil, el final de los accidentes automovilísticos necesaria e irreversiblemente pasa por aplicar la influencia la Ciencia Física, desde el diseño hasta el uso del vehículo”. Este artículo pretende describir la importancia de la aplicación de las leyes de la física a toda esta problemática, a los fines de incentivar a la sociedad a tomar acciones asociadas a la gobernabilidad del automóvil y su dependencia absoluta del respeto a las leyes de la física.

## Fundamentos Teóricos

Las leyes de la física asociadas a la gobernabilidad del automóvil: [4], Una ley física o ley natural es un principio físico establecido sobre la base de evidencia empírica y hechos concretos, aplicable a un grupo definido de fenómenos y que se puede enunciar como que un fenómeno en particular siempre ocurre si se presentan ciertas condiciones.

Frecuentemente para la mayor parte de las leyes de la física se dispone además de una teoría que permite deducir dicha ley de consideraciones más abstractas. Las leyes físicas suelen ser conclusiones basadas en observaciones y experimentos científicos repetidos a lo largo de varios años y que han sido aceptados por la comunidad científica. La creación de una descripción sumaria de nuestro entorno es una de las aspiraciones fundamentales de la ciencia. No todos los autores utilizan estos términos de igual forma.

Las leyes relacionadas con el movimiento del automóvil, el espacio y el tiempo en que ocurren los accidentes y la evolución en el diseño del automóvil y la vialidad, la climatología, fisiología humana y accidentes de tránsito. Algunas de las leyes más famosas de la naturaleza se encuentran en las teorías de Isaac Newton de la (hoy) mecánica clásica presentadas en su *Philosophiæ naturalis principia mathematica*- Matemáticos de la Filosofía Natural.

**Leyes de Newton** [4]: Primera ley de Newton o ley de inercia, establece principios que si sobre un cuerpo no actúa ningún otro, este permanecerá indefinidamente moviéndose en línea recta con velocidad constante (incluido el estado de reposo, que equivale a velocidad cero). Si disponemos de una partícula parada al inicio, a no ser que se le empuje, ésta no se moverá nunca, Segunda ley de Newton o principio fundamental de la dinámica: Se encarga de cuantificar el concepto de fuerza. establece que la fuerza neta aplicada sobre un cuerpo es proporcional a la aceleración que adquiere dicho cuerpo. La constante de proporcionalidad es la masa del cuerpo, de manera que puede expresarse la relación de la siguiente manera:  $F = m \cdot a$  Tanto la fuerza como la aceleración son magnitudes vectoriales, es decir, tienen, además un valor, una dirección y un sentido. De esta manera, la Segunda ley de Newton debe expresarse como:  $F = m \cdot a$  Conservación de la energía”.

Otras leyes como masa inercial el de velocidad en relación con un sistema de referencia inercial, fuerza centrífuga: efecto que se produce al conducir por una curva y que tiende a sacar al vehículo de la carretera, la magnitud de esta fuerza depende directamente de la velocidad que lleve el auto e inversamente del radio de la curva, punto de encuentro : Calcular el punto de encuentro de dos vehículos que van en sentido contrario, es muy difícil si no se sabe la velocidad que lleva alguno de ellos, por lo tanto, se aconseja considerar que el vehículo que viene en sentido contrario, viene a una velocidad mayor a la que uno percibe”.

Guillen y Ferreto [5] En el libro Investigando Accidentes de Tránsito, capítulo 11 Calculo de la velocidad por la huella de frenada, asocian directamente a la física cuando expresan “Las huellas de frenada son las impresiones dejadas por las ruedas de los vehículos al deslizarse después de haber aplicado los frenos y continuar el desplazamiento hasta detenerse por completo”.

## Parte Experimental

### Factores Humanos contribuyentes

Los Sistemas Complejos y la Psicología INFOCOP N° 48. 2010 Consejo General de Colegios Oficiales de Psicólogos. España [6] Según las Psicólogas M. Isabel de Arquera y Clotilde Nogareda del Centro Nacional de Condiciones de trabajo del Ministerio del Trabajo y Asuntos Sociales al referirse a la Fiabilidad Humana expresan “Desde la perspectiva de la Seguridad, las evaluaciones de los riesgos potenciales de un sistema realizadas para determinar su fiabilidad se conocen como análisis probabilísticos de riesgos, y son complejas técnica y formalmente. Un análisis probabilístico de riesgos debe considerar todos los aspectos negativos para la seguridad de un sistema, identificando los fallos técnicos, los sucesos ambientales y los errores humanos que, por separado o de forma conjunta, pueden conducir a sucesos no deseados”.

### Resultados

En atención a la Psicología se observó, que aun cuando los accidentes de tránsito abrumadoramente, ocurren alrededor del comportamiento de los conductores, el autor de este artículo, en investigaciones propias, Ferrer[7], especialmente en hechos reales, evidenció situaciones que involucraron al conductor en el 100% de los casos ,pero por igual la causa raíz de todos los accidentes investigados ,se correspondieron con la “violación” de leyes de la física, por ejemplo volcamiento en vía húmeda y aplicar los frenos ,transitar por vía urbana a velocidades entre (80 y 120 km/hr), en casos de trabajo en la antigua filial de PDVSA –Maraven, deslizamientos ,impactos, volcamientos de unidades pickup (camionetas para carga )sin carga , en vías denominadas petrolizadas(vías internas entre facilidades petroleras parte arena y parte residuos denominados petrolizados por contener residuos de crudo ,estas unidades irrespetaban el principio de centro de gravedad por no llevar carga ,unidades diseñadas para cargas”.

Causa común de accidentes fatales es la hora del mismo, cerca de las 06am, ocurren los choques y colisiones por efectos del sueño, fatiga y aspectos ergonómicos- biomecánicos.

Fundación CEA-Comisionado Europeo del Automóvil [8] “La Fundación CEA encamina sus esfuerzos en reducir la lacra que suponen los accidentes de tráfico. Desde su origen, Fundación CEA ha participado y organizado diversas campañas de concienciación, se reúne con los máximos responsables nacionales e internacionales para buscar soluciones, colabora de forma activa con estudios y proyectos de distintas organizaciones, preside una de las mesas del Congreso Mundial de Tráfico, además de ser miembro de organismos españoles, europeos y mundiales que luchan en favor de la Seguridad Vial “además conducir un coche es una tarea compleja en la que están involucrados aspectos como la percepción, el tiempo de respuesta y la capacidad física”.

Revista Elsevier [9] “El deterioro cognitivo es un factor de riesgo conocido para accidentes de tránsito. En Argentina, los organismos que otorgan las licencias de conductor requieren evaluaciones neurocognitivas abarcativas periódicas en personas de la tercera edad”. Accidental Injury. Biomechanics and Prevention. Alan M.Nahum/ John W.Melvin[10] “Escribir sobre lesiones accidentales a menudo parece ocurrir desde una de dos perspectivas. Una perspectiva es la de aquellos involucrados en aspectos del diagnóstico y tratamiento de lesiones y la otra es la de aquellos en ingeniería y ciencias biológicas que discuten principios mecánicos y simulaciones” Epidemiología de accidentes de tránsito [11].”

La recientemente adoptada Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible ha fijado una meta ambiciosa con respecto a la seguridad vial, consistente en reducir a la mitad, para 2020, el número de defunciones y lesiones por accidentes de tránsito en todo el mundo. Los accidentes de tránsito cuestan a la mayoría de los países el 3% de su PIB. Las lesiones causadas por el tránsito son la principal causa de defunción en el grupo etario de 15 a 29 años. Si no se aplican firmes medidas para evitarlo, se prevé que para 2030 los accidentes de tránsito serán la séptima causa de defunción”.

Ciencia Física [12], Mediante la reconstrucción del accidente trata de reproducir las fuerzas que han causado determinadas deformaciones y de ello deducir las energías que se han liberado en el accidente y que han producido las lesiones. La ingeniería se trata de construir vehículos cada vez más seguros, tanto para sus ocupantes como para el resto de usuarios de la vía pública, especialmente los peatones. Mediante la seguridad activa intenta reducir la producción de accidentes (con mejores luces, frenos ABS, neumáticos más adherentes, potencia ajustada de motor, etc.) y mediante la seguridad pasiva se trata de reducir las consecuencias lesivas del accidente sobre las personas (con cinturones de seguridad, airbag, cascos en motocicletas y ciclistas, parachoques absorbentes, barras de seguridad laterales, dispositivos tipo barras de rigidez antivuelco en autobuses, etc.).

La física, por medio del estudio de las leyes que rigen el movimiento de los cuerpos y la energía cinética producida en ese movimiento, pretende demostrar, en conjunción con la ingeniería y mediante la reconstrucción del accidente, cuál ha sido la tasa de transferencia de energía sobre las personas para tratar de explicar la producción de un tipo determinado de lesión en función de la energía transferida a ese cuerpo y la resistencia orgánica por zonas anatómicas, en función de la edad, el sexo, etc. En definitiva, la biomecánica trata de explicar los mecanismos lesivos en el trauma mediante la comprensión de las leyes y conceptos físicos relativos a las formas, tipos y grados de energía que actúan sobre diferentes zonas anatómicas del cuerpo humano.

Revista Circula Seguro [13] publicación sobre seguridad vial, 2018, España “Cuando un objeto se pone en movimiento influye sobre él una fuerza llamada **inercia**. Dicho de forma llana, la inercia es la resistencia que opone el objeto a detenerse. Poniendo un paralelismo, sería lo que “tira de nosotros” cuando nos lanzamos por una pendiente, intentamos parar en seco y nos resulta imposible sin precipitarnos hacia adelante. Esa inercia puede afectar a su movimiento en un plano longitudinal (en la dirección de la marcha), transversal (perpendicular a la dirección de la marcha) o vertical (lo cual no siempre significa perpendicular al suelo). En cualquier caso, hay que tener en cuenta que, como ocurre con las fuerzas, la inercia sólo sabe moverse en línea recta, por lo que no entiende de curvas. Dicho de otra forma, una inercia longitudinal excesiva al inicio de una curva es una mala compañera de viaje. Y si es transversal, también. La inercia será mayor cuanto mayor sea la **energía cinética** que acumule el vehículo en movimiento. Y esta energía depende de la masa del vehículo y la velocidad a la que se desplace.

La fórmula  $E_c = 1/2mv^2$  la cual significa, sencillamente, que cuanto más *pesa* un vehículo (cuanto mayor es su masa), más energía cinética acumula. Y cuanto mayor es su velocidad, mucho mayor es esa energía cinética. El hecho de que la velocidad se multiplique por sí misma (en la fórmula aparece elevada al cuadrado) indica que cuando este factor aumenta se disparará la cantidad de energía cinética que acumule el vehículo. Hay que tener en cuenta que la energía ni se crea ni se destruye, sino que se transforma. Por eso, para que un vehículo se detenga, habrá que **transformar toda la energía cinética** que haya acumulado al moverse. Normalmente esta energía se transforma en calor por efecto de la fricción de los elementos de frenado, por el rozamiento de las ruedas contra el asfalto y por el rozamiento de toda la carrocería contra el aire que la rodea.

Mogollon [14] “Relación de las leyes de Newton con el cinturón de seguridad, 2018 Cinturón de seguridad. Su uso, para que sirve, y lo que puede evitar. El uso del cinturón es esencial y no es reemplazable por otros métodos y debe ser usado en cualquier tipo de trayecto, corto o largo, urbano o no. Usar el cinturón de seguridad en el vehículo evitaría un alto porcentaje de muertes causadas por accidentes de tráfico, Si usas el cinturón, es menos probable que tu rostro choque contra el parabrisas, ya que frena tu inercia; esto significa que si la velocidad de tu auto es de 60 millas por hora (96 kilómetros por hora), y frenas de golpe, tu rostro no va a golpear contra el parabrisas. El cinturón aumenta tus posibilidades de que resultes ileso y estés consciente en caso de que luego de un accidente se inicie un fuego o quedes sumergido bajo el agua, así tendrás mayores probabilidades de salir a la superficie. El cinturón mantienen a las mujeres embarazadas con vida en caso de un accidente, ya que es la forma que tienen estas mujeres para proteger dentro del automóvil a su hijo por nacer. Se recomienda que las embarazadas usen un cinturón de cadera baja (no contra el abdomen) así ejerce presión hacia abajo sobre los huesos de la pelvis”.

**Martínez** [15] La fisiología es la rama de la biología que estudia las funciones de los seres vivos, intentando explicar los factores físicos, químicos y biológicos que causan el origen, desarrollo y progresión de la vida.

**Fisiología e incidencia en la integridad física de las personas de los accidentes de tránsito** [16] Cada año mueren cerca de 1,24 millones de personas en las carreteras del mundo entero, y entre 20 y 50 millones padecen traumatismos no mortales. Los traumatismos causados por los accidentes de tránsito representan el 59% de las defunciones entre los jóvenes con edades comprendidas entre los 18 y los 28 años. Los accidentes de tránsito siguen representando un importante problema de salud pública pese a los avances logrados en algunos países, para reducir el número de accidentes de tránsito.

## Discusión de resultados

Afirma Martí Parera [17], en el prólogo del libro *Limitaciones del Conductor y del Vehículo* “Posiblemente al lector no le resulte difícil averiguar, haciendo un poco de memoria o consultando Su enciclopedia, la fórmula para calcularla energía cinética de un cuerpo en movimiento; pero, ¿es consciente de que, cuando circula, Su automóvil posee este tipo de energía y necesita eliminarla para poder detenerlo?”

Por otra parte Cal Y Mayor, R y Cárdenas G,J [18] en el libro *Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones*; escriben en la Introducción “Entre mas sombrío se presente el problema del tránsito, con su saldo de accidentes y de congestionamientos, mas pronto se tratara de atender el problema. Por lo tanto, tarde o temprano todo país, todo estado, toda ciudad, habrá de considerarlo, estudiarlo y tratar de contrarrestarle, bajo pena de resultar víctima del alto precio que se está pagando por la era motorizada”.

Existe un antecedente interesante de los años 80, en Austria [19], donde aproximadamente en todo el año, en las cuatro estaciones climáticas, la luz del sol llega a un máximo de 6 horas, un país de mucha montaña y vegetación y población animal elevada, con el más alto índice de accidentes de tránsito del mundo, decidieron rehacer los circuitos viales de campo y ciudad, considerando la prevalencia de las leyes de la física, para modificar conductas de conductores, con medidas iniciales como cambiar el sentido de circulación de vehículos, alertar temprano sobre el respeto de señales en vías húmedas, ángulos de inclinación-peralte y otras desde el primero de enero del año 1982. La estadística en lo inmediato cambio a la baja en frecuencia, severidad y control de los accidentes, paralelo a ello, se incrementaron las medidas restrictivas sujetas a pruebas de campo (circuitos diseñados, simulando el tipo de vías del país y el clima reinante) y psicotécnicas a los aspirantes a conductor.

## Conclusiones

Las leyes de la física consideradas reflejan la imposible separación de estas con la conducción de vehículos tales como: Leyes de movimiento, centrípeta, inercia, gravedad, choque, fricción, energía, etc.

En tal sentido el autor afirma como respuesta al título del artículo que la responsabilidad de los accidentes de tránsito: descansa en la violación o irrespeto a las leyes de la física y piensa que la Ingeniería es la más idónea herramienta para solventar y llevar al mínimo estos accidentes, siempre que la población toda sea educada sobre la realidad, en tal sentido, un conductor deberá someterse a pruebas de habilidades en el acto de conducir vehículos, donde pueda enterarse del impacto de las leyes de la física en la conducción de vehículos, ya que la ingeniería de diseño y construcción de los automóviles ya tomo parte de ello.

El autor del presente trabajo ha sido testigo durante cuatro décadas de variados casos de accidentes automovilísticos. Especialmente atraído por aquellos de consecuencia catastrófica, tanto en la sociedad, como aquellos relativos al trabajo, incluidos algunos donde perdieron la vida trabajadores de PDVSA. La fenomenología de los accidentes se ha constituido en la motivación del autor de este trabajo. La ingeniería debe proponer como parte inherente al vehículo, vialidad y ambiente la aplicación

eficiente de las leyes de la física, la ergonomía, antropometría mecánica del movimiento humano y la estructura musculo –esquelética.

Finalmente, ¿El Quién y el Qué de la gobernabilidad en la conducción de automóviles? Lo representan las Leyes de La Física, y no el conductor, aun en las mejores competencias de conocimiento habilidades, destrezas, actitud y genética de Ellos.

**Recomendación final:** Que la Ingeniería tome la palabra.

## Referencias Bibliográficas

- [1] Villalobos J., El GPS se debe a Albert Einstein, Diario La Nación, Costa Rica (2015).
- [2] Pedragosa J.L., Investigador CERPIE, Universitat Politècnica de Catalunya, **Barcelona, España** (2013).
- [3] Ferrer J.V., Curso Manejo Seguro PDVSA, Gerencia Ingeniería y Proyectos, Venezuela (2000).
- [4] Leyes de la Física, Monografías, (2017). Obtenido de: <http://www.monografias.com/trabajos55/leyes-de-fisica/leyes-de-fisica.shtml#ixzz51KkqMzRoy>[https://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_la\\_f%C3%ADsica](https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_la_f%C3%ADsica)
- [5] Guillen J,R y Ferreto, J.E., Investigando Accidentes de Tránsito, Derechos de Publicación Reservados Guillen, Ferreto, Caracas, Venezuela (1977).
- [6] De Arquera M. y Nogareda C., Los Sistemas Complejos y la Psicología INFOCOP N° 48. Centro Nacional de Condiciones de trabajo del Ministerio del Trabajo y Asuntos Sociales España, Consejo General de Colegios Oficiales de Psicólogos. España (2010).
- [7] Ferrer B, (Investigación Monográfica PDVSA Occidente) Accidentalidad Carretera Lara– Zulia, Lagunillas, Venezuela (2000 – 2007).
- [8] Fundación CEA-Comisionado Europeo del Automóvil, La web con todo sobre la Seguridad Vial, Madrid, España (2018).
- [9] Porta O., Deterioro Cognitivo y Conducción Vehicular, Neurología Argentina, Revista Elsevier, Vol.9, No.1, Buenos Aires, Argentina, (2016), Obtenido de: DOI: 10.1016/j.neuarg.2016.11.006
- [10] Nahum M. and Melvin,J Accidental Injury. Biomechanics and Prevention,-Springer Book (2014).
- [11] Epidemiología de Accidentes de Tránsito, [Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2015](#), Organización Mundial de la Salud-OMS, Centro de Prensa, (2015).
- [12] Valero M., (Editorial Norma), Diccionario de Física, Colombia (1998).
- [13] Revista Circula Seguro (2018) publicación sobre seguridad vial, España.
- [14] Mogollon V., Relación de las leyes de Newton con el cinturón de seguridad, Sitio Prezi (2014).
- [15] Martínez L., (2005) Fisiología Monografias.com [blog institucional].
- [16] Blanco C., Estrada I., y Yustre J., Incidencias de accidentes de tránsito en la integridad física de los jóvenes de 18 a 25 años. Monografias.com [[blog institucional](#)] (2015).

[17] Marti A., (Editorial Alfaomega), Limitaciones del Conductor y del Vehículo, marcombo, Barcelona, España (1992).

[18] Caly Mayor R. y Cárdenas J., Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Editoria Alfaomega, 7ª.Edicion, Colombia. (2000).



## Índice acumulado

### N° 1 Julio - Diciembre 2011

Algunas series e integrales con funciones trigonométricas

**Some series and integrals with trigonometric functions**

*Alfredo Villalobos y Glenni García*

Control mediante interconexión y asignación de amortiguamiento del sistema mecánico subactuado TORA

**Interconnection and damping assignment control of the subactuated TORA mechanical system**

*Atilio Morillo, Maribel Pérez Pirela, Miguel Ríos y Vivian Acosta*

Algunos resultados que envuelven la función hipergeométrica de Wright y el cálculo fraccional

**Some results involving fractional calculus and Wright's generalized hypergeometric function**

*Susana Salinas de Romero y Carlos Segundo Muñoz Valencia*

Eficiencia del quitosano como coagulante durante el tratamiento de aguas de baja turbidez asociadas a la producción de petróleo

**Efficiency of chitosan as coagulant during treatment of low turbidity water associated crude oil production**

*Yaxcelys Caldera, Yim Rodríguez, Hernando Oñate, Jhosana Prato y Edixon Gutiérrez*

Quitina y Quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones

**Chitin and Chitosan friendly polymer. A review of their applications**

*Zulay Mármol, Gisela Páez, Marisela Rincón, Karelen Araujo, Cateryna Aiello, Cintia Chandler y Edixon Gutiérrez*

Algunos resultados sobre la función de Bessel de dos índices y un parámetro

**Some results on Bessel function of two indexes and one-parameter**

*Leda Galué y Greilyn Castillo*

Generalización fraccional de la ecuación de Schrödinger relacionada a la Mecánica Cuántica

**Fractional generalization of Schrödinger equation related to Quantum Mechanics**

*Shyam Kalla, Ram Kishore Saxena y Ravi Saxena*

## N° 2 Enero - Junio 2012

Diseño de un equipo de desinfección por luz ultravioleta para el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización

### **Design of disinfection equipment for ultraviolet light to wastewater treatment with goals of reutilization**

*Mayra Sánchez, Nellimar Villalobos, Edixon Gutiérrez y Yaxcelys Caldera*

Cinética de intercambio iónico bajo control mixto en medio lácteo

### **Ion exchange kinetics under mixed control in milk**

*Jorge Alaña, Karina Martínez, José González, Juan Hernández y César García*

Contenido de fracciones orgánicas en aguas de producción de petróleo

### **Organic fractions in water from crude oil production**

*Edixon Gutiérrez, Yaxcelys Caldera, Leopoldo Ruesga, Cristina Villegas, Roscio Gutiérrez, Ninoska Paz, Edith Blanco y Zulay Mármol.*

Solitones topológicos: Cúmulos de energía

### **Topological solitons: Lumps of energy**

*Ramón J. Cova*

Ingeniería Química: Historia y Evolución

### **Chemical Engineering: History and Evolution**

*Cateryna Aiello Mazzarri, Zulay Mármol y Araceli Sánchez de Puertas*

Comparación de las propiedades que influyen en la combustión entre el fly ash, carbón y diferentes derivados del petróleo

### **Comparison of the properties that influence in the combustion among the fly ash, coal and different derived of the petroleum**

*Anali Machado, Cezar García, Yolanda Rincón, Neyma García, José González y Juan Hernández.*

Nitrobacterias en reactores biológicos rotativos de contacto (RBC) de tres cámaras bajo diferentes cargas orgánicas

### **Nitrobacteria in three stages rotating biological contactor (RBC) reactors under different organic loads**

*Julio César Marín, Evelín Castro, Elisabeth Behling, Gilberto Colina, Laugeny Díaz y Nancy Rincón.*

Generalización de los polinomios de Bernoulli de índice arbitrario complejo

### **Generalization of Bernoulli polynomials of arbitrary complex index**

*Ana Isolina Prieto, Josefina Matera, Susana Salinas de Romero y Marleny Fuenmayor*

**N° 3 Julio - Diciembre 2012**

Criterios para la gestión de los sistemas de inventarios

**Criteria for management inventories systems**

*Alfredo Leal y Karim Oliva*

Contenidos curriculares y rendimiento académico de los estudiantes en la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia

**Contents curriculares and academic performance of the students in the Faculty of Agronomy of the University of Zulia**

*Mary Isabel Urdaneta Portillo, Gladys Sarmiento, José Hernández y Jairo Fernández*

Mínimos cuadrados parciales con el método de descenso de mayor pendiente

**Partial least square with method of maximum gradient descent**

*Eddy Jackeline Rodríguez*

Usabilidad de entornos virtuales 3D colaborativos en el proceso de enseñanza–aprendizaje

**Usability of collaborative 3D virtual environments in the teaching-learning processes**

*Carlos Arrieta*

Desinfección de aguas residuales de una industria avícola para su reutilización

**Disinfection of poultry industry wastewater for reuse**

*Edixon Gutiérrez, Anna Travaglini, Giselle Uzcátegui y Yaxcelys Caldera*

Estudio comparativo entre el método de Lemke y el método de los conjuntos activos para programación cuadrática

**Comparative study between Lemke's method and the active set method for quadratic programming**

*Marihebert Leal, Kilkenis Fuenmayor, Javier Bastidas y Susana Salinas*

**N° 4 Enero - Junio 2013**

Comunidades de práctica en la investigación universitaria

**Communities of practice in the university research**

*Sergio de Pool*

Representación integral de la función de Bessel de dos índices y un parámetro

**Integral representation of the Bessel function of two indexes and a parameter**

*Leda Galué y Greilyn Castillo*

Algunas propiedades de las N – Normas (I)

**Some properties of N – Norms**

*José Sarabia*

Biodegradación de queroseno por cultivos de bacterias aisladas de una fosa petrolera en Venezuela

**Kerosene biodegradation by bacterial cultures isolated from oil pit in Venezuela**

*Laugeny Díaz, Beltrán Briceño, Mónica García, Néstor Rosales, Julio Marín, Cateryna Aiello y Ever Morales.*

Factibilidad de inserción del Transmilenium como solución a la situación actual del sistema de transporte público de la ciudad de Maracaibo

**Feasibility study of the Transmilenium like a solution to the actual public transport situation in the Maracaibo city**

*Angi Rojas y Marco Hinder*

Modelado del secado en capa fina y del presecado al sol a diferentes alturas de la capa de la Lemna oscura del Lago de Maracaibo

**Modeling of the thin layer drying and solar predrying at the different layer thicknesses of the Lemna obscure from Maracaibo Lake**

*Leobaldo Suárez, Alexis Faneite y Alexis Ferrer*

Algunos resultados de la subordinación diferencial de Briot – Bouquet de funciones analíticas

**Some results on Briot – Bouquet differential subordination of analytic functions**

*Alka Rao y Shyam Kalla*

**N°5 Julio - Diciembre 2013**

Biblioteca de diferenciación automática para la máquina virtual de Java

**Automatic differentiation library for the Java virtual machine**

*María E. Portillo Montiel, Nelson Arapé, Gerardo Pirela Morillo*

Eficiencia de las semillas Moringa oleifera como coagulante orgánico en la remoción de metales en aguas de baja turbiedad

**Efficiency of the moringa oleifera seeds as organic coagulant for metal removal in low turbidity wastewaters**

*Marielba Mas y Rubí, Sedolfo Carrasquero, Daimarys Martínez, Donaldo Gabriel Mejías, Luis Vargas*

Evaluación de la recuperación de vanadio y níquel por lixiviación ácida de las cenizas volantes del aceite combustible

**Evaluation of the recovery of vanadium and nickel by acid leaching from oil fly ash**

*César García, Roselis Rosales, Bianca Feijoo, Juan Hernández, José González, Gabriela Carruyo*

Influencia de la relación de aspecto de la geometría vertical en el comportamiento estructural de edificaciones aporticadas de concreto armado

**Influence of the aspect ratio of vertical geometry on the structural behavior of framed reinforced concrete...**

*Oswaldo J. Russián A., Víctor R. Salazar V., Gerardo J. Gutiérrez D.*

Análisis numérico computacional de la distribución de temperaturas en una barra

**Computational numerical analysis for the temperatures distribution in a bar**

*Alfredo Villalobos, Antonio Quintero*

Validación de un método cromatográfico para la determinación de vitamina A en muestras de leche

**Validation of a chromatographic method for the determination of vitamin A in milk samples**

*Karelen Araujo, Gisela Páez, Zulay Mármol, Elsy Arenas, Ana Cáceres, Cateryna Aiello Mazzarri*

**N° 6 Enero - Junio 2014**

Sobre una generalización de la función hipergeométrica de Gauss  
**On one generalization of the Gauss' hypergeometric function**

*Nina Virchenko*

Representación integral de las  $\mu$ -funciones de onda

**Integral representation of  $\mu$ -wave functions**

*Iryna Aleksandrovich, Nina Virchenko*

Algunos resultados sobre la función de Bessel de tres variables

**Some results on Bessel function of three variables**

*Ana Isolina Prieto, Josefina Matera, Leda Galué, Susana Salinas*

Integrales y ecuación diferencial que involucran la función de Wright

**Integrals and differential equations involving Wright functions**

*Susana Salinas de Romero, Daniel Meza, Marleny Fuenmayor*

Desigualdades integrales fraccionales y sus  $q$ -análogos

**On fractional integral inequalities and their  $q$ -analogues**

*Sunil Dutt Purohit, Faruk Uçar, R.K. Yadav*

Una nueva clase de polinomios  $q$ -Apostol-Bernoulli de orden  $\alpha$

**A new class of  $q$ -Apostol-Bernoulli polynomials of order  $\alpha$**

*Mridula Garg, Subhash Alha*

Algunos resultados que involucran operadores  $q$ -integrales fraccionales generalizados de Erdélyi-Kober

**Some results involving generalized Erdélyi-Kober fractional  $q$ -integral operators**

*Leda Galué*

Revisión de la teoría de Boehmians

**Boehmians revisited**

*P. K. Banerji, Deshna Loonker*

Algunas propiedades de las  $N$ -normas (II)

**Some properties of  $N$ -norms (II)**

*José A. Sarabia R.*

**N° 7 Julio - Diciembre 2014**

Fermentación en estado sólido: Una alternativa biotecnológica para el aprovechamiento de desechos agroindustriales

**Solid state fermentation: A biotechnological alternative for exploitation of agroindustrial wastes**

*José R. Ferrer G, José L. Machado, Jhanna Brieva*

Propuesta de un sistema de seguridad residencial inalámbrico basado en instrumentación virtual

**Proposal for a wireless home security system based on virtual instrumentation**

*Gereli de los Ángeles Gutiérrez Finol*

Sistema de facturación vehicular en peajes basado en tecnología de identificación por radio frecuencia (RFID)

**Vehicular toll collection system based on radio frequency identification technology (RFID)**

*Angel D. Larreal M., Georma P. Marachli M.*

Determinación del grado de conversión global del jugo de piña en etanol por medio de la fermentación alcohólica

**Determination of the conversion degree of pineapple juice through alcoholic fermentation**

*Briceida C. Fernández A., Maite V. Gómez S., José R. Ferrer G, Marisela Rincón*

Modelo matemático para la evaluación de parámetros hidráulicos de un reactor anaerobio de flujo ascendente a escala piloto (RAFAep)

**Mathematical model for evaluating parameters of a hydraulic upflow anaerobic reactor pilot scale (RAFAep)**

*Gabriel Arguello, Gerardo Aldana, Jhonny Perez*

Dispersión gelatinosa de huesos bovinos para la clarificación de aguas con baja turbidez

**Bovine bone gelatinous dispersion for clarification of water with turbidity low**

*Lorena Fuentes, Yolimar Aguilar, Yaxcelys Caldera, Iván Mendoza*

Nanocompuestos basados en arcilla y mezclas heterogéneas de termoplásticos. Una revisión

**Nanocomposites based on clay and heterogenous blends of thermoplastics. A review**

*Helen Inciarte, Haydée Oliva*

**N° 8 Enero - Junio 2015**

Análisis, diseño y simulación del sistema subactuado Pendubot

**Analysis, design and simulation of Pendubot subactuated mechanical systems**

*Atilio Morillo y Maribel Pérez Pirela*

Remoción de arsénico presente en oil fly ash por lixiviación ácida

**Arsenic removal from oil fly ash by acid leaching**

*José González, Julissa Arguelles, Milagros Ojeda, Juan Hernández, Gabriela Carruyo y Cezar García*

Sistema de control en modo deslizante para regular la posición y la velocidad de un motor de corriente directa

**Sliding mode control to regulate the speed and position of a motor of direct current**

*Ernesto Cornieles y Jacobo Ramírez*

Evaluación fisicoquímica y fitoquímica de Granada (*Punica granatum* L.)

**Evaluation of physical and phytochemical properties of the granada (*Punica granatum* L.)**

*Johana Raga, Zulay Marmol, Evelyn Pérez, Gisela Páez y Karelen Araujo*

Cuantificación y caracterización de los residuos de alimentos del Comedor Central Estudiantil de la Universidad del Zulia

**Quantification and characterization of food residues from the Student Central Dinning of the University of Zulia**

*Karina Martínez, John Sánchez, Yuleidi Raga, Zulay Marmol, Elsy Arenas y Cateryna Aiello*

Modelado de problema de regresión lineal con método Cuasi-Newton

**Modeling linear regression problem with Quasi-Newton method**

*Eddy Rodríguez*

Efecto de las condiciones de hidrofobización de una arcilla natural sobre su distribución y dispersión en mezclas de poliestireno/polibutadieno/estireno

**Effect of the hydrophobization conditions of natural clay on its distribution and dispersión in polystyrene/polybutadiene/styrene blends**

*Ida González, Haydee Oliva, Ysabel Cedeño, Helen Inciarte, Diana Soto y Eliezer Velásquez*

Estudio del comportamiento de las redes sónicas de alta velocidad

**Study of performance of the sonic high speed networks**

*Luis Rojas*

**N° 9 Junio - Diciembre 2015**

Onda de propagación TE en una microcinta abierta con dos dieléctricos

**TE propagation wave in an open microstrip with two dielectrics**

*Augusto Galo.*

Lixiviación diferenciada de metales mayoritarios de cenizas volantes.

**Differentiated leaching of majoritarian metales from fly ash**

*Juan Hernández, José González, Gabriela Carruyo y Cezar García.*

Control y telemanipulación a distancia de un sistema multivariable.

**Control and remote accessing of a multivariable system**

*Ernesto Cornieles, German Gutiérrez y Jacobo Ramírez.*

Aprendizaje constructivista para el análisis de estructuras mediante el uso de un entorno virtual.

**Constructivist learning for the analysis of structures by using a virtual environmental.**

*Evelyn Marín*

Análisis de la emisión y dispersión del dióxido de nitrógeno en un sector de alto flujo vehicular.

**Analysis of the emission and dispersion of nitrogen dioxide in areas of high vehicular traffic.**

*Alberto Córdova, Anali Machado, Neyma Garcia, Gilberto Colina y Cezar García.*

Teorema para la función de Bessel generalizada que involucran polinomios de Hermite.

**Theorems for the generalized Bessel function that involving Hermite polynomials.**

*Josefina Matera, Ana Isolina Prieto, Leda Galué y Susana Salinas de Romero.*

Aporte nutricional de un biosólido avícola obtenido en un proceso de digestión aerobia sobre un cultivo de cebollín.

**Nutritional contribution of a poultry biosolids obtained in a process of aerobic digestion on the growing of green onion.**

*Leopoldo Ruesga, María Ocando, Miguel López, Enyris Gutiérrez, Yaxcelys Caldera y Edixon Gutiérrez.*

Opuntia ficus-indica y Opuntia wentiana: estudio comparativo sobre su efectividad como coagulantes en la clarificación del agua.

**Opuntia ficus-indica and Opuntia wentiana: comparative study on its effectiveness as a coagulant in water clasification.**

*Yoalis González, Lorena Fuentes, Ivana Mendoza y Yaxcelys Caldera.*

**N° 10 Enero - Junio 2016**

Efecto de la temperatura de calcinación de la sílice en el sistema Pt/CeO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> para la oxidación de metano **Effect of Silica Calcination Temperature in the System Pt/CeO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> for Methane Oxidation**

*Julio Moreno, Jeannette Zarraga, Dora Finol, Víctor Ferrer*

Diseño de una red de monitoreo de calidad de aire para un complejo petroquímico  
**Design of a network of monitoring of air quality for a petrochemical complex**

*Eudo Nava, Rima Simancas, Cezar García*

Efecto de la aireación en la producción de abono orgánico mediante la fermentación en estado sólido del desecho de uva blanca

**Effect of aeration in the organic fertilizer production by solid state fermentation of waste white grape**

*Jhanna P. Brieva F., José R. Ferrer G., Carlos Fernández B, Jorge Ortega*

Incidencia de los residuos y contaminantes químicos en alimentos de origen animal y vegetal  
**Incidence of chemical residues and contaminants in food of animal and vegetable origin**

*Jean Carlos Belandría Briceño, Mary Andara, Juan Arias, Adriana Urdaneta*

Perfil de aminoácidos en dietas formuladas para la alimentación de peces, utilizando residuos del procesamiento industrial de crustáceos

**Amino acid profile formulated diets for fish feed, using industrial waste processing crustaceans**

*Mary Andara, Juan Arias, Jean Belandría, Jhanna Brieva, Willy Gómez*

Desarrollo de un algoritmo que implemente el método de diferencias finitas para resolver las ecuaciones de Einstein utilizando el formalismo 3+1 de la relatividad numérica

**Development of an algorithm that implements the finite Difference method to solve Einstein's equations via the 3+1 formalism of numerical relativity**

*Favio Vásquez, Jubert Pérez*

Estudio de factibilidad para el establecimiento de una fábrica semi-industrial de compotas de pseudo fruto de cajuil (anacardium occidentale) en el estado Zulia

**Feasibility study for establishing of a semi-industrial factory of cashew (anacardium occidentale) apple compote in Zulia state.**

*Marlyng Borjas, Alexis Faneite, José Ferrer*

Evaluación de agentes de parada corta en las reacciones de polimerización de la planta PVC II del complejo petroquímico Ana María Campos

**Evaluation of short stop in polymerization reactions of the PVC II plant petrochemical Complex Ana María Campos**

*Lined P. Durán H., Leiza P. Brango G., Oscar Urdaneta*

**N° 11 Julio - Diciembre 2016**

Implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de velocidades centrifugas de compresores.

**Implementation of predictive maintenance plan based on analysis of speed centrifugal compressor.**

*Kenneth Rosillon y Oscar Aguillar*

Accidente: Fenómeno Estocástico.

**Accident: Stochastic Phenomena.**

*José Vicente Ferrer y Naudy Leal.*

Categorización de usuarios de Twitter.

**Categorizing Twitter users.**

*Fracisco Luengo, Carla Morillo y Yaskelly Yedra.*

Uso del Wxmaxima en la enseñanza de la ecuación integral de Fredholm de segunda especie.

**Use of Wxmaxima on teaching the Fredholm integral equation of second order.**

*Jhonny Araque, Robert Quintero y Oscar León.*

Modelo diferencial de transferencia de masa para el análisis de la lixiviación ácida del oil fly ash.

**Differential mass transfer model for the analysis of the acid leaching of oil fly ash.**

*Juan Hernández, José González, Gabriela Carruyo y Cezar García.*

Integrales que involucran funciones de Bessel de tres variables y dos parámetros.

**Integrals involving Bessel functions of three variables and two parameters.**

*Leda Galué.*

N° 12 Enero – Junio 2017

Método de planos de corte modificado para programación lineal entera en la toma de decisiones cuantitativas.

**Modified cutting-plane method for integer linear programming in the making of quantitative decisions.**

*Jenny Márquez.*

Efecto de un acidificante orgánico en los parámetros productivos de pollos de engorde.

**Effect of an organic acidifier in productive parameters of broilers.**

*Diego Parra Rojas, José Parra Rojas y Ramón Urdaneta.*

Análisis del censo catastral de la Isla de Zapara, a través de la Ley Orgánica de Ordenación del Territorio, la Ley Orgánica de Seguridad de la Nación y la Ley de Tierras y Desarrollo Agrario.

**Analysis of cadastral survey Zapara Island, through the Organic Law of Planning, the Law on National Security and the Law on Land and Agricultural Development.**

*Yvonne López de Martínez, Yogry Castillo y Daniela Romero.*

Percepción remota del vapor de agua troposférica en zonas adyacentes a estaciones GPS de operación continua utilizando el sensor satelital MODIS.

**Tropospheric water vapor remote sensing by MODIS satellital in zones near continuous operating GPS Stations.**

*Sarai Leal, Víctor Cioce, Giovanni Reyero y Eugen Wildermann.*

Análisis elipsométrico de nanoestructuras híbridas semiconductor/ metal: Co/AIN/AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y AIN/Co/ AIN/AL<sub>2</sub> O<sub>3</sub>

**Elipsometric analysis of hybrid semiconductor / metal nanostructures: Co/AIN/AI<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y AIN/ Co/AIN/AL<sub>2</sub> O<sub>3</sub>**

*José Fermín Darío Rincón, Giovanni Marín y Carlos Chesman Feitosa.*

Modelo reológico para mezclas fluidas de carbón mineral.

**Rheological model for fluid mixtures of mineral coal.**

*Henry Leal, Pragredes Paredes, José González y César García.*

## N° 13 Julio - Diciembre 2017

- Topología de Zariski y A-transformaciones  
**Topology of Zariski and A-transformations**  
*Edixo Rosales* 11
- Producción de biodiesel a partir de las grasas extraídas de la borra de café mediante un proceso en dos etapas: esterificación con  $H_3PO_4$  y transesterificación con KOH  
**Biodiesel production from spent coffee grounds extracted oil using a two-stage process: esterification with  $H_3PO_4$  and transesterification with KOH**  
*Andrés Camejo, Elsy Arenas, John Sánchez, Zulay Mármol, Cintia Chandler y Cateryna Aiello* 15
- Evaluación del comportamiento bidimensional de un reactor de lecho fijo para la síntesis de dimetileter  
**Two-dimensional behaviour of a fixed bed reactor for dimethyl ether production**  
*Hector Suárez y Cezar García* 29
- Efecto de la disponibilidad de nutrientes y la adición de coagulantes sobre la sedimentabilidad de lodos activados  
**Effect of the availability of nutrients and the addition of coagulants on the sedimentability of activated sludge**  
*Vanessa Finol, Isabel González, Lenin Herrera y Lewis Godoy* 47
- Calidad física de aguas residuales de una industria avícola en un sistema de flotación por aire disuelto con coagulantes  
**Physical quality of wastewater from a poultry industry in a system dissolved air flotation with coagulants**  
*Yaxcelys Caldera, Mayra Sánchez y Edixon Gutiérrez* 57
- Valoración económica como edificio histórico patrimonial a la antigua sede rectoral de la Universidad del Zulia  
**Economic valuation as a historical patrimonial building to the former rectory headquarters of the University of Zulia**  
*Carlos Sandoval y Yogry Castillo* 67

**Nº 14 Enero - Junio 2018**

Analizador sintáctico-semántico para la enseñanza de la programación de software.

**Syntactic-semantic analyzer for teaching software programming**

*Alfredo Díaz y Asdrúbal Granados*

Caracterización nutricional y perfil de aminoácidos en plantas de Moringa oleifera Lam. Como Alternativa de uso potencial en la alimentación animal.

**Nutritional characterization and amino acid profile in plants of Moringa oleifera Lam. As an alternative for potential use in animal feed.**

*Mariangela González, Oscalido Vargas y Jean Belandria*

Estructura matemática del modelo factores latentes fortalecidos.

**Mathematical structure of the model Latent Factors Strengthened.**

*Eddy Jackeline Rodríguez*

Efecto de diferentes adsorbentes sobre el contenido de minerales en el mosto y vino blanco.

**Effect of different adsorbents on the content of minerals in the grape juice and white wine.**

*Zulay Mármol, Verónica Berrueta, Félix Torrealba, Johanna Raga, Gisela Páez†, Karelen Araujo, Marisela Rincón*

El error humano en el diagrama cartesiano

**Human error in the cartesian diagram**

*José Ferrer Bastidas*

De la arena a la oblea de silicio.

**From the sand to the silicon wafer.**

*José R. Fermín*

## **Normas para la presentación de artículos**

**1. La Revista Tecnocientífica URU** es una revista digital arbitrada de la Universidad Rafael Urdaneta cuyo propósito es dar a conocer trabajos científicos originales e inéditos en las áreas de Ingeniería (Química, Civil, Eléctrica, Computación, Telecomunicaciones, Industrial y Producción Animal, entre otras.

### **2. Tipos de trabajos**

Se aceptaran para la publicación artículos científicos inéditos, esto es, que no hayan sido enviados o publicados en otro órgano de divulgación científica con anterioridad, con un máximo de quince (15) páginas y escrito en MICROSOFT OFFICE WORD. Se deben consignar tres copias y un CD-ROM del artículo.

- 2.1 Artículos de actualización científica que resuman el “Estado del Arte” de las áreas de la revista, con un máximo de quince (15) páginas.
- 2.2 Artículos de reflexión sobre un tema específico de las áreas de la revista, desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, recurriendo a fuentes originales.
- 2.3 Artículos de revisión: documentos donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones, publicadas o no, sobre una temática especializada de las áreas de la revista.
- 2.4 Artículos de discusión: documentos que presentan el debate de afirmaciones realizadas en artículos anteriores.
- 2.5 Artículos de invitados especiales con un máximo de quince (15) páginas.
- 2.6 Notas técnicas: sobre mejoras de procesos en ingeniería, resultados de investigaciones derivadas del ejercicio profesional en ingeniería y ciencias afines, con un máximo de ocho (8) páginas.

### **3. La portada debe contener**

- 3.1 Título del trabajo en español e inglés en letras mayúsculas y minúsculas.
- 3.2 Nombre(s) del autor(s), 6 autores como máximo y su dirección institucional(es) completa(as) (dirección postal, correo electrónico).
- 3.3 Resumen del trabajo en español e inglés (abstrac) con un máximo de doscientas (200) palabras.
- 3.4 Palabras clave en español e inglés (key words) con un máximo de cinco (05) palabras.

### **4. Normas de estilo**

- 4.1 El orden a seguir para el artículo es: portada, resumen (en español e inglés), introducción, fundamentos teóricos, parte experimental, resultados, discusión de resultados, conclusiones, agradecimiento y referencias bibliográficas.
- 4.2 El artículo debe escribirse en estilo Times New Roman tamaño 12, el título tamaño 16 y las

Figuras, tablas y texto subordinados tamaño 10.

- 4.3 El interlineado debe ser doble espacio a excepción del resumen, agradecimiento y referencias bibliográficas que van a un espacio.
- 4.4 El nombre de cada sección se escribirá en negritas. Estos deberán estar centrados.
- 4.5 El nombre de las subsecciones se escribirá en negritas a la izquierda del texto y en mayúsculas y minúsculas.
- 4.6 Las Figuras, fotografías, diagramas y gráficos deben denominarse como Figuras y estas deben ir numeradas con números arábigos, así como las tablas. Además, deben incluirse dentro del texto correspondiente y con su respectiva leyenda.
- 4.7 La redacción de los trabajos puede ser en español o inglés.
- 4.8 Las fotografías, imágenes, mapas y Figuras incluidas en el documento se anexaran también por separado en el CD-ROM con excelente calidad.
- 4.9 Las fotografías deben estar en blanco y negro, bien contrastadas y brillantes de un ancho máximo de 9,5cm.
- 4.10 Todos los símbolos matemáticos deben ser escritos en forma clara y legible, con los subíndices y superíndices ubicados correctamente.
- 4.11 Deben ser numeradas todas las ecuaciones matemáticas en forma consecutiva con números arábigos entre paréntesis y ubicados en el margen derecho.
- 4.12 Las citas dentro del documento se escriben con el nombre de sus autores seguido con un número entre corchetes que corresponde a la referencia.

Ejemplo: García [1], L Moreno [3, Pág. 19-24] o ubicando el número de la referencia sin colocar autor [4], si son 3 o más autores se escribe K. Nishimoto *et al.* [2].

Las referencias bibliográficas de artículos de revistas deben contener autor(es) si tiene varios autores separarlos con comas, título de la revista, volumen y número, año de publicación (entre paréntesis) y páginas. Solo deben incluirse referencias bibliográficas con autores totalmente identificados y se escribirán por orden de aparición de las citas.

Ejemplo: García C., Marín j., Alaña J., Martínez K. y Faria J., Modelo de Nernst-Planck aplicado a la cinética de intercambio iónico del sistema PO<sub>4</sub>(-3)- Cl(-1) en leche, Rev. Tec. Ing. Univ.Zulia, Vol. 30, N°. 3, (2007), 236-243.

Los libros se escriben: apellido e inicial del autor(es) con mayúsculas y minúsculas.

Ejemplo: Nishimoto K. (Editor), Fractional Calculus and its Applications, Nihon University, Tokyo (1990).

- 4.13 En los artículos deben emplearse unidades del Sistema Internacional: metro (m), kilogramos (Kg), Segundo (s), entre otras.

## 5. Arbitraje

- 5.1 El trabajo, recibido por el Editor(a), será enviado al Comité Editorial para su revisión y consideración de tres árbitros.
- 5.2 El método de arbitraje que sigue la revista es de tipo “doble ciego”, que consiste en que tanto los árbitros como los autores desconocen sus respectivas identidades.

- 5.3 Los trabajos serán evaluados de acuerdo a los siguientes criterios: claridad, originalidad del contenido, aportes al campo de conocimiento, coherencia del discurso, adecuada organización interna, calidad de las referencias bibliográficas, adecuada elaboración del resumen y pertinencia del título.
- 5.4 En caso de recibir observaciones por parte de los árbitros, estas serán enviadas al(los) autor(es) para su corrección. Después de realizar las correcciones, los autores devolverán la versión corregida en un CD-ROM, así como un original impreso y tres copias.
- 5.5 Las pruebas de imprenta serán enviadas a los autores para la revisión final del artículo.
- 5.6 Cuando el trabajo sea aceptado los autores serán informados del tiempo aproximado de publicación. Si el trabajo es rechazado los autores podrán remitir al Editor(a) Jefe una comunicación exponiendo argumentos a favor de su artículo. El Comité Editorial considerará las acciones a tomar.
- 5.7 Cada autor principal de los artículos publicados recibirá gratuitamente una (1) revista y cinco (5) separatas.

## **6. Consideraciones finales**

- 6.1 Los conceptos u opiniones emitidos en los artículos, serán de exclusiva responsabilidad de los autores.
- 6.2 El Comité Editorial se reserva el derecho de los arreglos de estilo que considere conveniente.
- 6.3 Bajo ninguna circunstancia, la revista devolverá los originales (Impreso y CD-ROM) de los artículos enviados para su consideración.
- 6.4 Lo no previsto en las presentes normas será resuelto por el Comité Editorial.



## **Guidelines for Submitting Articles**

**1. URU techno-scientific journal** is an arbitrated digital journal of the Rafael Urdaneta University, whose purpose is to publish scientific papers in the areas of engineering (Chemical, Civil, Electrical, Computer, Telecommunications, Industrial, Animal Production, etc.).

### **2. Types of articles**

Articles will be accepted for publication which have not been submitted or published in other scientific journals, and should have a maximum of fifteen (15) pages, and written in MICROSOFT OFFICE WORD. Three copies should be submitted along with a CD-ROM containing the article.

- 2.1 Scientific articles that summarize the “state of the art “ in areas of interest for the journal with a maximum of fifteen (15) pages.
- 2.2 Reflection articles on specific issues covered by the magazine, from an analytical, interpretative or critical viewpoint of the author, and based on original sources.
- 2.3 Review articles which analyze, systematize and integrate results, published or unpublished, on specific issues covered by the magazine.
- 2.4 Discussion articles: A document that presents the debate of assertions published in previous articles.
- 2.5 Articles by special guests with a maximum of fifteen (15) pages long.
- 2.6 Technical notes on process improvements in engineering, results of research obtained from professional practice in engineering and related fields, with a maximum of eight (8) pages.

### **3. The front page must contain**

- 3.1 Title of paper in English and Spanish, in uppercase and lowercase letters.
- 3.2 Author’s name , maximum of 6 authors and full institutional address or addresses (postal address, e-mail).
- 3.3 Abstract in Spanish and English with a maximum of two hundred (200) words.
- 3.4 Key words in Spanish and English with a maximum of five (5) words.

### **4. Text guidelines**

- 4.1 The sequence for the article should be as follows: title, abstract (in English and Spanish), introduction, theoretical foundations, experimental part, and discussion of results, conclusions, acknowledgements and references.
- 4.2 Article should be written in 12 point Times New Roman, and 16 point for the title, and figures, tables and subordinate text should use 10 point. Interlining should be double space; abstract, acknowledgments and references should be single space.
- 4.3 The heading of each section should be centered and written in boldface letters.
- 4.4 Subsections headings should be written in boldface letters on the left of text and in upper and

lower case letters.

- 4.5 Figures, photographs, diagrams and charts should be labeled as figures, and numbered with Arabic numerals, as well as tables. They should be included within the corresponding text along any explanation.
- 4.6 The article draft should be in Spanish or English.
- 4.7 Photographs, images and figures included in the document should be annexed separately on a CD-ROM of excellent quality.
- 4.8 Photographs must be in black and white, with good contrast and brightness, with a maximum width of 9.5 centimeters.
- 4.9 Mathematical symbols should be written clearly and legibly, with subscripts and superscripts correctly located.
- 4.10 Mathematical equations should be numbered sequentially with Arabic numerals within parentheses and placed on the right margin.
- 4.11 Quotations within the document should be written with the author's name followed with a number inside brackets that corresponds to the reference. Examples: García [1], L. Moreno [3, pages 19-24] or, if there are three or more authors, the reference number without the author's name [4], and written as K.Nishimoto *et al.* [2].
- 4.12 Bibliographic references to journal articles should include author (s) name (s); if it has multiple authors, their names should be separated by commas, title of journal, volume and number, year of publication (in parentheses) and page numbers. Bibliographical references should be included only when authors are fully identified and they will be written in order of appearance of the quote. Example: García C., Marín J., Alaña J., Martínez K y Faria J., Model of Nernst-Planck applied to the ion exchange kinetics of the PO<sub>4</sub> (-3)-Cl(1) system in milk, *Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia*, vol. 30, N° 3, (2007), 236-243.  
  
Books references should be written: surname and initial of the author (s) name (s) in uppercase and lowercase letters.  
  
Example: Nishimoto K. (editor), *Fractional calculus and its applications*, Nihon University, Tokyo (1990).
- 4.13 Articles should use the International System Units: meter (m), kilogram (kg), second (s).

## Evaluation

- 5.1 Articles received by the Editor (s) will be submitted to the Editorial Committee for review and consideration of three arbitrators.
- 5.2 The evaluation method followed by the Journal is of the "double blindness" type; neither the arbitrators nor the authors know their respective identities.
- 5.3 The works submitted will be evaluated according to the following criteria: clarity of language, originality of contents, contributions to the field of knowledge, coherence, adequate internal organization and quality of bibliographic references, appropriate elaboration of the abstract and relevance of title.
- 5.4 In case of observations from the referees, these will be forwarded to the author (s) for corrections. After making corrections, the authors should return the corrected version on a CD-ROM, as well as an original of the reviewed work and three copies.

- 5.5 Press proof will be sent to authors for final review of the article.
- 5.6 When the work is accepted, authors will be informed of the approximate date of publication. If the work is rejected, the author may submit a communication to the Editor in Chief presenting his arguments in favor of the article. The Editorial Committee will consider the actions to take.
- 5.7 Each author will receive one (1) free copy of the journal volume and 5 reprints.

**Final considerations**

- 6.1 Concepts or opinions expressed in articles shall be the sole responsibility of the authors.
- 6.2 The Editorial Committee reserves the right for any format changes that considers convenient.
- 6.3 Under no circumstances, the magazine will return the original of the articles (print and CD-ROM) submitted for consideration.
- 6.4 Questions not answered by these guidelines shall be resolved by the Editorial Committee.



***Revista Tecnocientífica URU N° 15***  
Maracaibo, Venezuela